

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГАОУ ВПО «Российский государственный
профессионально-педагогический университет»

Б. С. Чуркин

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ И ПРИБЫЛЕЙ ДЛЯ ОТЛИВОК

Учебное пособие

*Допущено Учебно-методическим объединением
по профессионально-педагогическому образованию в качестве
учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности 050501.09 – Профессиональное обучение
(металлургические производства)*

Екатеринбург
РГППУ
2012

УДК 621.74(075.8)

ББК К305-64я73-1

Ч-93

Чуркин, Б. С.

Ч-93 Конструирование и расчет литниковых систем и прибылей для отливок: учебное пособие / Б. С. Чуркин. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2012. 124 с.

ISBN 978-5-8050-0483-5

Рассмотрены вопросы конструирования и расчета литниковых систем и прибылей для отливок из различных сплавов.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 030500.09 Профессиональное обучение (металлургические производства), специализации 030503.09 Технология и менеджмент в металлургических производствах, а также по направлению 651300 Металлургия, специальности 110400 Литейное производство черных и цветных металлов.

УДК 621.74(075.8)

ББК К305-64я73-1

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Е. А. Фурман (ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина»); канд. техн. наук, проф. В. С. Балин (ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»); канд. техн. наук, доц. А. В. Песков (ФГАОУ ВПО «Российский государственный профессионально-педагогический университет»)

ISBN 978-5-8050-0483-5

© ФГАОУ ВПО «Российский
государственный профессионально-
педагогический университет», 2012
© Чуркин Б. С., 2012

Оглавление

Введение.....	5
Глава 1. Конструирование и расчет литниковых систем	6
1.1. Расчет оптимальной продолжительности заливки	7
1.2. Классификация литниковых систем.....	11
1.2.1. Литниковые системы I класса.....	12
1.2.2. Литниковые системы II класса	14
1.2.3. Литниковые системы III класса	18
1.2.4. Литниковые системы IV класса.....	21
1.3. Типы разливочных ковшей и технология заливки форм	22
1.4. Выбор уровня и места подвода сплава к полости формы.....	28
1.5. Расчет литниковых систем при заливке из поворотных ковшей	32
1.6. Расчет литниковых систем при заливке из стопорных ковшей	36
1.6.1. Последовательность расчета литниковых систем при заливке из стопорных ковшей без торможения струи.....	38
1.6.2. Последовательность расчета литниковых систем при заливке из стопорных ковшей с торможением струи.....	41
1.7. Расчет литниковых систем при подводе сплава на нескольких уровнях при литье из поворотных ковшей.....	44
1.8. Расчет вертикально-щелевых литниковых систем	46
1.9. Конструирование литниковых систем	47
1.9.1. Конструирование литниковых чаш и воронок.....	47
1.9.2. Конструкции стояков.....	50
1.9.3. Конструкции шлакоуловителей и коллекторов	52
1.9.4. Конструкции питателей.....	55
1.9.5. Применение фильтровальных сеток	55
1.9.6. Особенности конструкции литниковых систем для отливок из ковкого чугуна	57
1.9.7. Особенности конструкций ступенчатых литниковых систем	59
1.9.8. Особенности литниковых систем для отливок из цветных сплавов	62
1.10. Специальные конструкции литниковых систем	62
1.10.1. Тормозящая литниковая система В. И. Фундатора.....	63
1.10.2. Дроссельные литниковые системы	63
1.10.3. Дождевые литниковые системы	66
1.10.4. Другие разновидности специальных конструкций литниковых систем	67
1.11. Примеры расчета литниковых систем	68
Контрольные вопросы и задания.....	73

Глава 2. Организация питания отливки	78
2.1. Обеспечение направленного затвердевания отливки.....	78
2.1.1. Анализ конфигурации отливки. Определение узлов питания	78
2.1.2. Построение технологических напусков.....	81
2.1.3. Расчет и конструирование внутренних и наружных холо- дильников.....	83
2.2. Виды прибылей. Определение количества прибылей.....	91
2.2.1. Классификация прибылей	91
2.2.2. Определение протяженности зон действия прибылей.....	95
2.2.3. Определение количества прибылей	98
2.3. Расчет прибылей.....	98
2.3.1. Метод Й. Пржибыла	99
2.3.2. Упрощенный метод УЗТМ.....	103
2.3.3. Расчет боковых прибылей и питающих элементов в лит- никовых системах	104
2.4. Специальные конструкции прибылей.....	109
2.4.1. Применение теплоизоляции и обогрева прибылей	109
2.4.2. Прибыли, работающие под высоким газовым давлением.....	114
2.4.3. Легкоотделяемые прибыли	116
Контрольные вопросы и задания.....	117
Заключение	121
Библиографический список.....	122

Введение

В процессе технологической подготовки производства отливок важное место занимает решение вопросов организации качественного заполнения форм сплавом и эффективного питания затвердевающей отливки, исключая образование в ней усадочных дефектов. При разработке технологии получения отливки технолог должен уметь обоснованно назначать уровень и места подвода сплава к отливке, выбирать тип и конструкцию литниковой системы, рассчитывать геометрические размеры ее отдельных элементов. Сконструированная литниковая система должна удовлетворять разнообразным, иногда противоречивым требованиям: обеспечивать плавное заполнение формы за заданное оптимальное время, надежно задерживать шлаковые и неметаллические включения, способствовать направленному затвердеванию отливки и созданию условий для ее эффективного питания, снижению литейных напряжений, предотвращению образования в отливках горячих и холодных трещин. Современные теория и технология литниковых систем, основные положения которых изложены в данном учебном пособии, позволяют технологю на научном уровне подойти к решению этих вопросов и сократить расходы на доводку технологии при внедрении ее в производство.

Одним из важнейших вопросов является организация эффективного питания отливки. Технолог должен уметь осуществлять анализ конфигурации отливки с точки зрения определения изолированных термических узлов, являющихся местом концентрации усадочных дефектов, если не обеспечить компенсацию объемной усадки поступающим из прибыли жидким сплавом. С точки зрения эффективности питания отливки и снижения расхода металла на прибыль большое значение имеет обоснованный выбор конструкции прибылей, а также расчет их минимально допустимых размеров. При необходимости следует предусматривать применение методов обогрева прибылей и повышенного газового давления в прибылях. Технолог должен владеть методами обеспечения направленного затвердевания отливки.

Учебное пособие направлено на обеспечение освоения студентом указанных навыков и умений. Данные задачи решаются в процессе изучения дисциплины «Технология литейного производства», а также в ходе курсового и дипломного проектирования.

В учебном пособии изложены основные теоретические положения и методики технологических расчетов, приведены необходимые справочные данные и примеры выполнения расчетов. Каждая глава содержит контрольные вопросы и задания, направленные на более глубокое усвоение учебного материала.

Глава 1. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Заполнение форм сплавом является первым этапом формирования отливки. Несмотря на свою относительную кратковременность (единицы – десятки секунд), заполнение формы в значительной мере определяет качество отливки. Подавляющее большинство технологического брака в литейном производстве связано с неправильной организацией заливки.

Управление заполнением форм осуществляется путем соответствующего конструирования и расчета литниковых систем. Литниковая система представляет собой совокупность каналов в форме, через которые сплав поступает из ковша в полость формы.

Конструкция типичной литниковой системы показана на рис. 1.1. Расплав из ковша заливают в литниковую чашу или воронку 1, из которой он через вертикальный канал – стояк 2 – поступает в горизонтальный канал – шлакоуловитель 4, расположенный на уровне подвода сплава к полости формы. При литье стали этот канал чаще всего называют литниковым ходом, а в цветном литье – коллектором. Из шлакоуловителя (литникового хода, коллектора) жидкий сплав через систему питателей 5 поступает в полость формы 7. Для смягчения удара струи сплава нижняя часть стояка выполняется в виде полушферы – зумпфа 3. В конце шлакоуловителя предусматривают тупик 6.

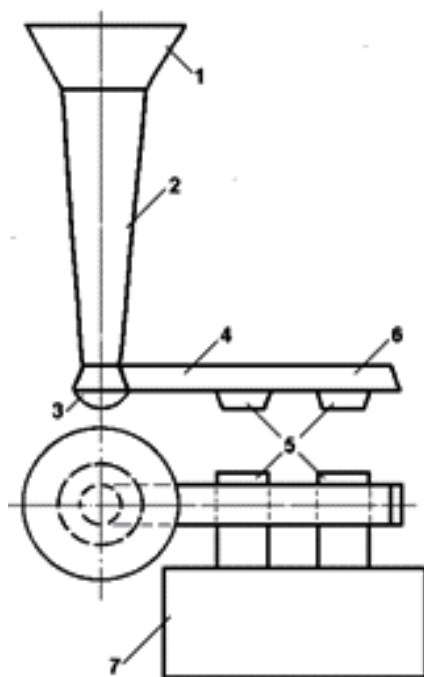


Рис. 1.1. Конструкция литниковой системы

Движение сплава по литниковым каналам и в полости формы сопровождается явлениями охлаждения и кристаллизации сплава, прогрева формы и стержней, окислением и вспениванием сплава, силовым и ударным воздействием его на стенки формы, выделением и эвакуацией газа из формы и стержней и т. п. Эти явления могут приводить к возникновению тех или иных дефектов отливок.

Расчет и конструирование литниковых систем осуществляется на основе соответствующих положений теории литейных процессов и законов фундаментальных наук. Основные положения теории литниковых систем рассматриваются в курсах «Теория литейных процессов» и «Основы литейной гидравлики и теплофизики».

Для качественного заполнения формы сплавом литниковая система должна удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать заполнение формы за оптимальное время;
- обеспечивать надежное улавливание шлака, неметаллических и газовых включений;
- обеспечивать плавное поступление сплава в полость формы без разбрызгивания и размывания поверхностей формы и стержней;
- создавать тепловые условия, благоприятствующие направленному затвердеванию отливки и снижению развивающихся в ней литейных напряжений.

С точки зрения увеличения выхода годного, под которым понимают выраженное в процентах отношение массы отливки к приходящейся на одну отливку массе залитого в форму сплава, расход металла на литники должен быть минимальным.

1.1. Расчет оптимальной продолжительности заливки

Длительный практический опыт литейщиков показывает, что для каждой отливки существует оптимальная продолжительность заполнения τ формы, удовлетворяющая неравенству

$$\tau_{\min} \leq \tau_{\text{зал}} \leq \tau_{\max},$$

где τ_{\min} — минимально допустимая продолжительность заливки;
 τ_{\max} — максимально допустимая продолжительность заполнения формы.

Минимально допустимая продолжительность заливки τ_{\min} определяется:

- временем, необходимым для полного удаления из формы воздуха и газов, выделяемых формой, стержнями и металлом;
- возможностью размывания поверхности форм и стержней;
- силой удара металла о верхнюю плоскость формы в конце заливки;
- нежелательностью увеличения сечений литниковых каналов по экономическим соображениям.

Максимально допустимая продолжительность заливки τ_{\max} определяется:

- отводом тепла и снижением температуры сплава;
- жидкотекучестью металла (опасностью образования спаев и недоливов, особенно в тонких сечениях);
- необходимостью обеспечения скорости подъема уровня сплава в форме, исключаяющей возникновение спаев и отслоение стенок формы (образование ужимин).

При выборе оптимальной продолжительности заливки нужно учитывать уровень и место подвода сплава. При подводе сплава снизу продолжительность заливки должна быть меньше, чем при подводе сверху, так как в этом случае нужно обеспечить достаточно высокую температуру сплава в прибыли. При подводе сплава в тонкие части отливки большая продолжительность заливки будет способствовать уменьшению внутренних напряжений в отливке.

Аналитическое определение τ_{\min} и τ_{\max} затруднено, поэтому в практике расчетов широко используются эмпирические зависимости. Наиболее широко известна формула Г. М. Дубицкого

$$\tau_{\text{опт}} = S_1 \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot G}, \quad (1.1)$$

где S_1 – коэффициент продолжительности заливки, зависящий от температуры жидкого металла, рода сплава, места его подвода, материала формы;

δ – преобладающая толщина стенки отливки, мм;

G – масса жидкого металла в форме, приходящегося на одну отливку, кг [4, 15].

Значения коэффициента S_1 приведены в табл. 1.1 и 1.2 [4].

Таблица 1.1

Значения коэффициента S_1 для стальных отливок

Температура сплава	Подвод металла		
	снизу или в толстостенные части отливки	на половине высоты или ступенчатый	сверху или в тонкие части отливки
Нормальная	1,3	1,4	1,5–1,6
Повышенная	1,4–1,5	1,5–1,6	1,6–1,8

Таблица 1.2

Значения коэффициента S_1 для отливок из алюминиевых сплавов

Изготовление отливок	Подвод металла при массе жидкого сплава на одну отливку, кг						
	Обычная литниковая система				Вертикально-щелевая система		
	До 2	2–5	5–10	10	До 15	15–30	30–70
В подогреваемых кокилях	2,2	2,4	2,5	2,6	3,3	3,6	4,0
В песчаных формах	1,7	2,1	2,3	2,4	2,7	2,8	3,0

Для отливок, располагаемых в опоках горизонтально, значения S_1 принимаются меньше на 0,1–0,2, так как вследствие растекания металла по холодной стенке формы увеличиваются тепловые потери.

Для отливок, склонных к образованию внутренних напряжений, холодных трещин (при подводе сплава в тонкие части отливок) и усадочных раковин (при подводе сверху), значения S_1 следует увеличивать на 0,1–0,2 (большая продолжительность заливки необходима для выравнивания темпа охлаждения толстых и тонких частей отливки).

Отливки, изготавливаемые в металлических формах или с большим количеством холодильников, нужно заливать быстрее. В этом случае S_1 следует уменьшить на 0,1–0,2.

Для чугунного литья значение S_1 чаще всего принимают равным 2. Если же чугун имеет содержание углерода меньше 3,3 % при наличии в форме холодильников и при пониженной температуре заливки, следует принимать S_1 в пределах 1,7–1,9. Для отливок из ковкого чугуна Г. М. Дубицкий рекомендует принимать $S_1 = 2,05$.

Для отливок из бронзы БрО35Ц6С5 при заливке в песчаные формы для литниковой системы, замкнутой в питателях, следует принимать $S_1 = 2 \div 2,1$. Для отливок из латуни ЛЦ40С1Л при заливке в песчаные формы принимают $S_1 = 1,9$, а при заливке в металлические формы – $S_1 = 1,3$.

Под *преобладающей толщиной стенки* δ понимается толщина стенки, имеющей наибольшую протяженность в отливке, или толщина стенки, наиболее удаленной от питателей и находящейся в неблагоприятных с точки зрения заливки условиях. При этом δ не всегда совпадает с геометрической толщиной стенки отливки.

$$\delta = \frac{2\omega}{\chi}, \quad (1.2)$$

где ω – площадь поперечного сечения стенки отливки, мм²;
 χ – периметр поперечного сечения стенки отливки, мм.

Для плоской стенки

$$\delta = 2 \frac{l \cdot \delta_{\text{отл}}}{2(l + \delta_{\text{отл}})} = \frac{\delta_{\text{отл}}}{1 + \delta_{\text{отл}}/l}.$$

Если длина поперечного сечения $l \gg \delta_{\text{отл}}$, то $\delta = \delta_{\text{отл}}$. На практике $\delta = \delta_{\text{отл}}$, если $l > 4\delta_{\text{отл}}$. Если это условие не выполняется, то преобладающую толщину стенки следует рассчитывать по формуле (1.2).

Массу жидкого металла, приходящегося на одну отливку, можно определить по формуле

$$G = \frac{G_{\text{ж}}}{N},$$

где N – число отливок в форме, шт.;
 $G_{\text{ж}}$ – масса заливаемого в форму сплава, кг.

$$G_{\text{ж}} = N \cdot G_{\text{отл}} + G_{\text{пр}} + G_{\text{л.с}}, \quad (1.3)$$

где $G_{\text{отл}}$ – черновая масса отливки, кг;
 $G_{\text{пр}}$ и $G_{\text{л.с}}$ – масса прибылей и литниковой системы, кг.

Здесь неизвестна только масса литниковой системы. Ее принимают равной 4–10 % от $(N \cdot G_{\text{отл}} + G_{\text{пр}})$. При этом бóльшая величина принимается для небольших отливок.

Опыт показывает, что отливка получается качественной в некотором интервале времени заливки: при отклонении $\tau_{\text{зал}}$ от рассчитанного по формуле (1.1) в бóльшую или меньшую сторону на 20 %. По данным Г. М. Дубицкого, время заливки должно удовлетворять неравенству

$$\tau_{\text{опт}}/1,2 \leq \tau_{\text{зал}} \leq 1,2\tau,$$

где $\tau_{\text{опт}}$ вычисляется по формуле (1.1).

1.2. Классификация литниковых систем

Как известно из теории литниковых систем, расход сплава, протекающего через литниковую систему, определяется площадью узкого места системы $\omega_{\text{уз}}$ и величиной действующего напора $H_{\text{р}}$.

Узким местом литниковой системы называется ее элемент, имеющий наименьшую площадь сечения и определяющий расход сплава в системе.

При литье из поворотных ковшей площадь узкого места литниковой системы, обеспечивающей заливку формы за оптимальное время, рассчитывают по следующей формуле:

$$\omega_{\text{уз}} = \frac{G_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}} \cdot \mu \cdot \tau_{\text{опт}} \cdot \sqrt{2g \cdot H_{\text{р}}}}, \quad (1.4)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкого сплава, кг/см³;

μ – коэффициент расхода литниковой системы;

$H_{\text{р}}$ – действующий напор, см;

g – ускорение свободного падения, $g = 981 \text{ см/с}^2$;

$G_{\text{ж}}$ – масса жидкого сплава, залитого в форму через литниковую систему, кг.

Литниковая система называется замкнутой в том или ином своем элементе, если в нем одновременно выполняются следующие два условия: поперечное сечение данного элемента системы полностью заполнено жидким сплавом и в потоке сплава через данный элемент системы отсутствует разрежение. Система, все элементы которой удовлетворяют условиям

замкнутости, называется *замкнутой*. Если хотя бы в одном элементе система не замкнута, то вся литниковая система называется *незамкнутой*.

Замкнутость системы имеет важное значение для обеспечения улавливания шлака и неметаллических включений. Если сечения каналов не заполнены сплавом, то шлак и неметаллические включения всплывают на свободную поверхность потока сплава и выносятся в полость формы. В случае создания в потоке сплава разрежения происходит подсос газов, которые могут стать причиной возникновения газовых раковин в отливках.

Для обеспечения замкнутости литниковой системы ее делают сужающейся, т. е. по ходу потока сплава площади сечений элементов системы уменьшаются. При этом скорость сплава увеличивается, достигая наибольшего значения на выходе в полость формы. Поэтому замкнутые системы неприемлемы для сплавов, склонных к вспениванию и окислению (алюминиевые и магниевые сплавы, высоколегированные стали, алюминиевые бронзы и латуни). Для этих сплавов применяют незамкнутые, расширяющиеся литниковые системы. Чтобы обеспечить шлакоулавливание, в данном случае применяют специальные приемы (например, устанавливают фильтровальные сетки).

Несмотря на очень большое число конструктивных типов литниковых систем, которые будут рассмотрены в п. 1.10, можно выделить несколько типов, отличающихся элементами, а также гидравлическими особенностями функционирования. С этой точки зрения Г. М. Дубицкий выделил 4 класса литниковых систем.

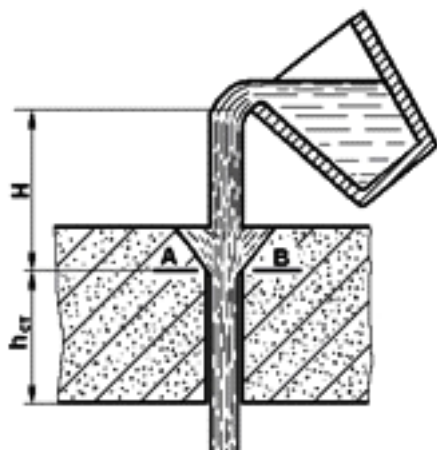
1.2.1. Литниковые системы I класса

В состав системы данного класса входят литниковая чаша или воронка и стояк. Конструкции систем с цилиндрическим стояком приведены на рис. 1.2 и 1.3. На рис. 1.2 показана система с газопроницаемыми стенками, а на рис. 1.3 – с газонепроницаемыми. В обоих случаях литниковая система не замкнута в стояке.

Как видно из рис. 1.2, если стенки стояка газопроницаемые, струя сплава отходит от его стенок и, следовательно, не заполняет поперечное сечение стояка. Если стояк имеет газонепроницаемые стенки, струя полностью заполняет сечение стояка, но в ней развивается разрежение. Так как в данном учебном пособии рассматривается литье в разовые, т. е. газопро-

нищаемые, формы, к литниковым системам с газонепроницаемыми стенками мы в дальнейшем обращаться не будем.

a



б

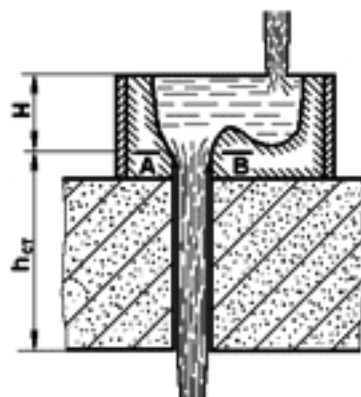
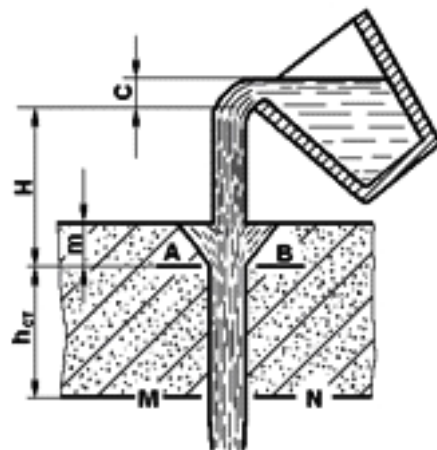


Рис. 1.2. Литниковые системы класса I при газопроницаемых стенках канала:

a – заливка в литниковую воронку; *б* – заливка в чашу

a



б

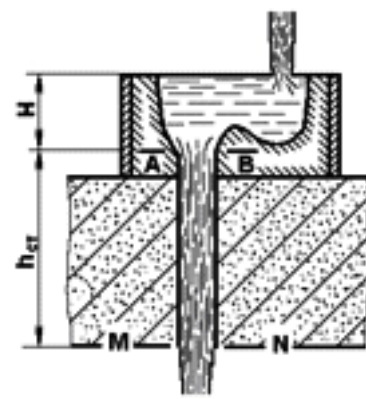


Рис. 1.3. Литниковые системы класса I при газонепроницаемых стенках канала:

a – заливка в литниковую воронку; *б* – заливка в чашу

Узкое место системы данного класса находится в верхнем сечении стояка *AB* (см. рис. 1.2). Расчетный напор $H_p = H_q$, где H_q – высота уровня металла в чаше. При этом динамический напор струи, падающей из ковша, полностью гасится в чаше.

По данным Г. М. Дубицкого, при применении литниковой воронки часть напора сохраняется. Поэтому в данном случае расчетный напор равен

$$H_p = (1,3 \div 1,4) \cdot H_b,$$

где H_b – высота уровня металла в воронке.

Для обеспечения замкнутости системы в стояке он выполняется коническим, сужающимся книзу. При этом струя полностью по всей высоте стояка заполняет его поперечное сечение. Узкое место системы в данном случае располагается в нижнем сечении стояка MN , а расчетный напор определяется по следующим формулам:

- при применении чаши

$$H_p = H_{\text{ч}} + h_{\text{ст}};$$

- при применении воронки

$$H_p = (1,3 \div 1,4)H_b + h_{\text{ст}}.$$

Системы I класса относительно редко применяются на практике. В качестве примера можно привести дождевую литниковую систему, которая подробно рассмотрена в п. 1.10.

1.2.2. Литниковые системы II класса

Конструкции систем II класса показаны на рис. 1.4 и 1.5. Литниковая система этого класса состоит из воронки или чаши, стока и питателя. Расход металла в сечении AB равен

$$Q_a = \mu_1 \cdot \omega_{AB} \cdot \sqrt{2g \cdot H},$$

где μ_1 – коэффициент расхода в сечении AB ;

ω_{AB} – площадь сечения AB .

Жидкий металл, накапливаясь в нижней части стояка, начинает вытекать в полость формы через питатель. Если площадь сечения питателя меньше площади нижнего сечения стояка ($\omega_{MN} < \omega_{\text{ст.н}}$), то расход металла при истечении в полость формы Q_e равен

$$Q_e = \mu_2 \cdot \omega_{MN} \cdot \sqrt{2g \cdot h'},$$

где μ_2 – коэффициент расхода в сечении MN ;

h' – уровень сплава в стояке относительно оси выходного сечения питателя.

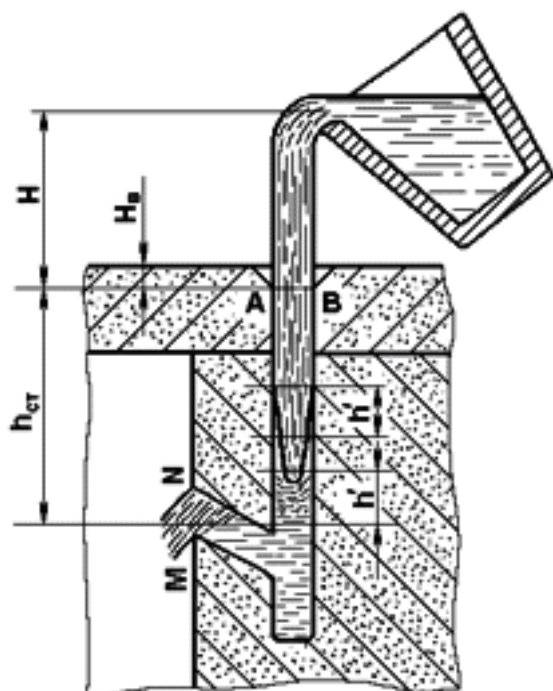
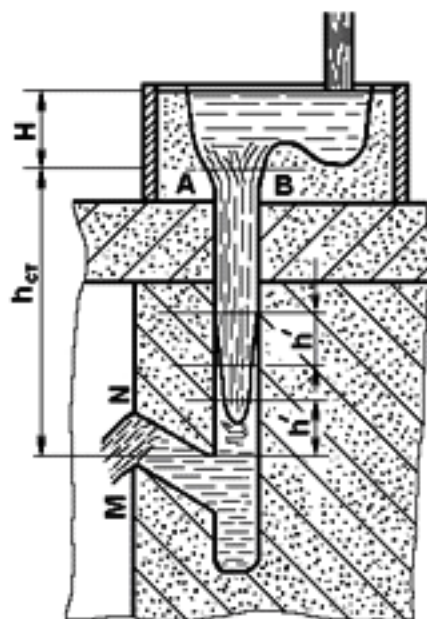
a*б*

Рис. 1.4. Литниковые системы класса II вида ПА:

a – заливка в литниковую воронку; *б* – заливка в чашу

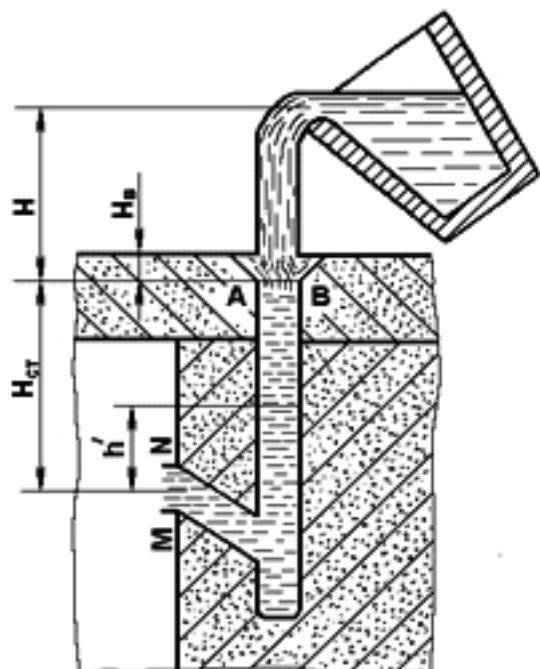
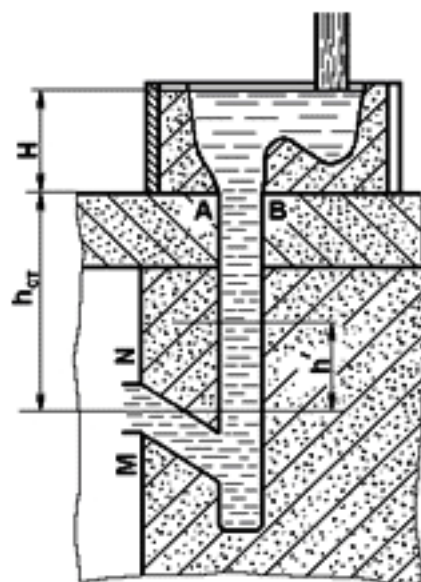
a*б*

Рис. 1.5. Литниковые системы класса II вида ПВ:

a – заливка в литниковую воронку; *б* – заливка в чашу

При $\omega_{\text{ст.н}} < \omega_{MN}$

$$Q_e = \mu_2 \cdot \omega_{\text{ст.н}} \cdot \sqrt{2g \cdot h'},$$

где μ_2 – коэффициент расхода в нижнем сечении стояка.

Если $\omega_{MN} \gg \omega_{\text{ст.н}}$ (площадь сечения питателя значительно больше площади сечения стояка), то сечение питателя не будет заполнено сплавом до тех пор, пока уровень металла в полости формы не поднимется выше сечения питателя.

В начале заливки напор h' мал. Поэтому $Q_e < Q_a$. Это приводит к накоплению сплава в стояке, т. е. к увеличению h' и росту расхода Q_e .

Можно выделить два вида систем класса II: IIА и IIВ.

В системах вида IIА при некотором значении $h' = h'_y$ расход из питателя Q_e становится равным приходу сплава в систему через сечение АВ, т. е. $Q_e = Q_a$:

$$\mu_2 \cdot \omega_{MN} \cdot \sqrt{2g \cdot h'_y} = \mu_1 \cdot \omega_{AB} \cdot \sqrt{2g \cdot H}$$

или

$$\mu_2 \cdot \omega_{\text{ст.н}} \cdot \sqrt{2g \cdot h'_y} = \mu_1 \cdot \omega_{AB} \cdot \sqrt{2g \cdot H}.$$

Эти условия выполняются при значениях величин h'_y , удовлетворяющих равенству

$$h'_y = \frac{\mu_1^2 \cdot \omega_{AB}^2}{\mu_2^2 \cdot \omega_{MN}^2} \cdot H \quad \text{или} \quad h'_y = \frac{\mu_1^2 \cdot \omega_{AB}^2}{\mu_2^2 \cdot \omega_{\text{ст.н}}^2} \cdot H.$$

Очевидно, что, чем больше отношение $\omega_{AB} / \omega_{MN}$ или $\omega_{AB} / \omega_{\text{ст.н}}$, тем больше будет h'_y .

Если величина h'_y меньше высоты стояка $h_{\text{ст}}$, то литниковая система относится к классу систем, не замкнутых в стояке. Заполнение части полости формы, находящейся ниже уровня питателя, будет происходить при постоянном напоре в стояке h'_y . Когда уровень металла в полости формы достигнет

сечения питателя, уровень сплава в стояке h' начнет подниматься. При этом разность уровней сплава в стояке и в полости формы будет равна h'_y .

Когда уровень сплава в стояке достигнет плоскости AB , напор, под действием которого происходит истечение из узкого сечения системы, внезапно возрастет до величины $H_p = H + h_{ст}$. При достаточно большой высоте стояка ($h_{ст} \gg h'$) можно считать, что заполнение полости формы происходит при постоянном напоре h'_y и постоянном расходе $Q_e = Q_{AB}$.

В качестве расчетного сечения $\omega_{уз}$ следует принимать сечение стояка вверху (AB), а действующий в нем напор можно определить по формулам $H_p = H_{ч}$ (рис. 1.4, б) и $H_p = (1,3 \div 1,4) \cdot H$ (рис. 1.4, а).

Сечение питателя ω_{MN} в данном случае оказывает влияние на скорость, с которой расплав поступает в полость формы.

В системах вида ПА происходит эжекция газов в стояке. Это создает разрежение в расплаве, что является нежелательным. Кроме того, при применении воронки (см. рис. 1.4, а) расход зависит от напора, который при заливке трудно контролировать. Поэтому время заливки практически невозможно стабилизировать. На основании сказанного можно заключить, что системы вида ПА нецелесообразно применять на практике.

В системах вида ПВ при любых возможных значениях h' расход Q_e всегда меньше расхода Q_a ($Q_e < Q_a$). Поэтому уровень сплава в стояке очень быстро поднимается до сечения AB и весь стояк оказывается заполненным сплавом (см. рис. 1.5). Такую систему называют *замкнутой в стояке*.

Если площадь сечения питателя меньше площади стояка внизу, то система будет замкнута во всех элементах. При $\omega_{ст.н} < \omega_{MN}$ система будет замкнута в стояке, но не замкнута в питателе. В последнем случае уменьшается скорость поступления сплава в полость формы из питателя. Поэтому данную систему можно рекомендовать для отливок из сплавов, склонных к вспениванию и окислению.

Общим недостатком систем класса II является отсутствие в них шлакоулавливающего элемента. Поэтому при их применении часто предусматривают установку фильтровальных сеток. Системы класса II часто используют при вертикальной плоскости разъема формы, например при литье в безопочные формы, изготовленные на формовочных линиях типа «Дизаматик».

Схема заполнения полости формы через систему вида ПВ приведена на рис. 1.6. Напор во время заливки является переменным. Он изменяется от H_0 в начале заливки до величины m в момент ее окончания.

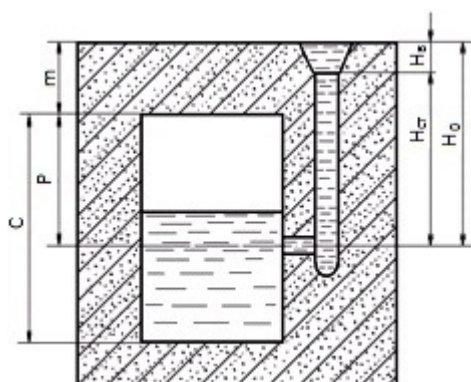


Рис. 1.6. Схема заполнения полости формы

Расчетный напор при вычислении площади узкого места по формуле (1.4) следует определять по формуле Дитерта.

$$H_p = H_0 - \frac{R^2}{2C}, \quad (1.5)$$

где R – расстояние от уровня подвода сплава к полости формы до ее верхней плоскости;

C – высота полости формы;

$H_0 = H_{ст} + (1,3 \div 1,4) \cdot H_v$ или $H_0 = H_{ст} + H_ч$;

$H_{ст}$ – высота стояка;

H_v – высота уровня металла в воронке;

$H_ч$ – высота уровня металла в чаше.

Узким местом системы является сечение питателей MN , если $\omega_{MN} < \omega_{ст.н}$, или нижнее сечение стояка при $\omega_{ст.н} < \omega_{MN}$.

1.2.3. Литниковые системы III класса

Литниковые системы III класса содержат все основные элементы: литниковую чашу или воронку, стояк, шлакоуловитель и питатели. Среди этих систем можно выделить два подкласса: системы, замкнутые в питателях, и системы, не замкнутые в питателях. В замкнутых в питателях системах во время заливки шлакоуловители и питатели заполнены металлом. Для обеспечения этого необходимо соблюдение условий: $\omega_{ст.н} > \omega_{пит}$ и $\omega_{шл} > \omega_{пит}$.

Возможны два вида замкнутых в питателях систем: системы вида IIIA и системы вида IIIB.

К системам вида IIIA (рис. 1.7) относятся системы, у которых при некотором значении высоты уровня сплава в стояке расход из питателей становится равным расходу из чаши или воронки. При этом литниковая система замкнута в питателях, но не замкнута в стояке.

Узкое место систем вида IIIA и расчетный напор определяются так же, как для систем вида IIА.

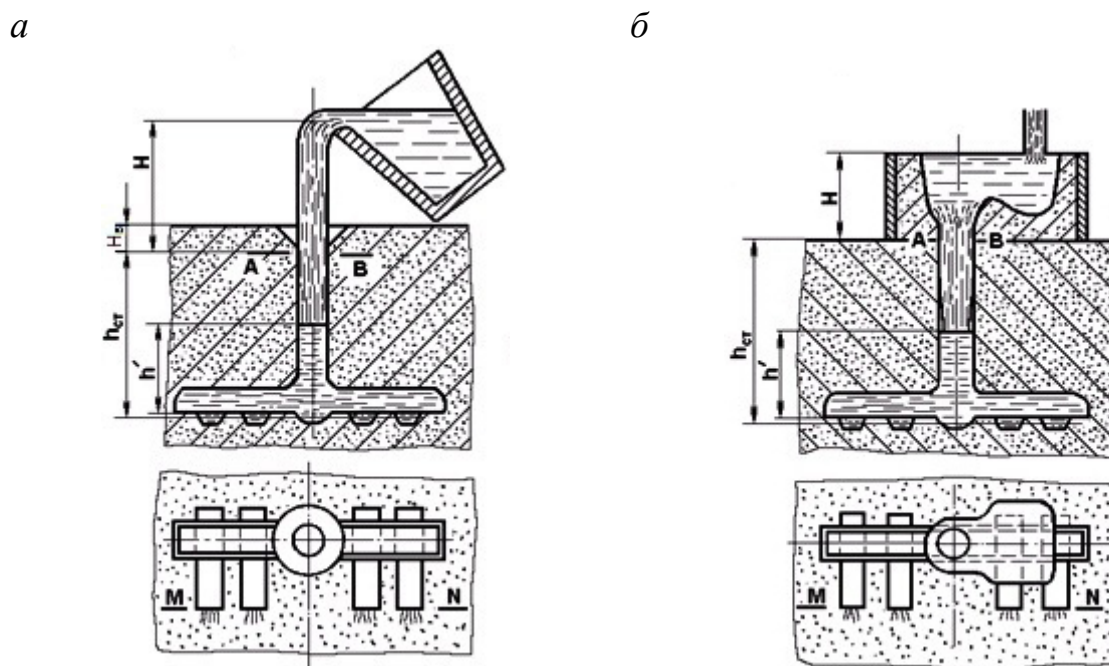


Рис. 1.7. Литниковые системы вида IIIA при применении литниковой воронки (а) и чаши (б)

Если при любом возможном значении напора в стояке h' расход из питателей Q_e меньше расхода из чаши или воронки, то имеет место система вида IIIB (рис. 1.8). В данной системе стояк быстро заполняется сплавом, поэтому она является замкнутой во всех элементах. На рис. 1.8 линия PQ указывает положение верхнего уровня полости формы.

Узким местом системы IIIB является сечение питателей MN, а расчетный напор H_p определяется по формуле Дитерта (1.5). Данный тип литниковой системы наиболее распространен при заливке форм железоуглеродистыми и многими медными сплавами. Эта система хорошо задерживает шлак.

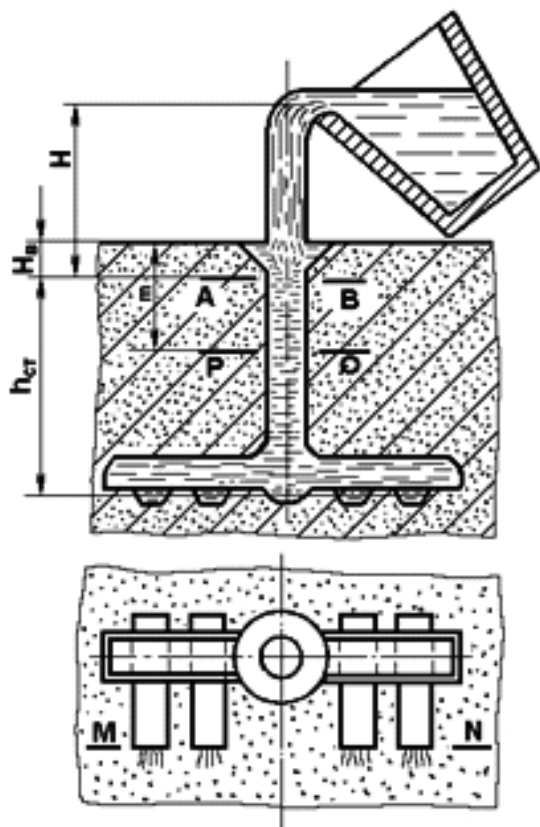
Однако скорость сплава по ходу потока через систему вида IIIB увеличивается, достигая в питателях наибольшего значения. Поэтому для сплавов, склонных к окислению и вспениванию, эти системы неприменимы. Для

уменьшения выходной скорости потока узкое место системы переносится в шлакоуловитель или нижнее сечение стояка.

Если $\omega_{\text{шл}} \ll \omega_{\text{пит}}$ или $\omega_{\text{ст.н}} \ll \omega_{\text{пит}}$, то система будет не замкнутой в питателях. В этих системах и шлакоуловители, и питатели не заполнены сплавом во время заливки до тех пор, пока уровень сплава в полости формы не поднимется выше уровня питателей и шлакоуловителей. Различают два вида таких систем.

Системы вида IIIС не замкнуты в питателях и не замкнуты в стояке. По характеру заполнения стояка эти системы аналогичны системам видов IIА и IIIА. Для систем вида IIIС расчетным сечением ($\omega_{\text{уз}}$) следует считать верхнее сечение стояка, а расчетный напор H_p необходимо определять так же, как для систем видов IIА и IIIА.

а



б

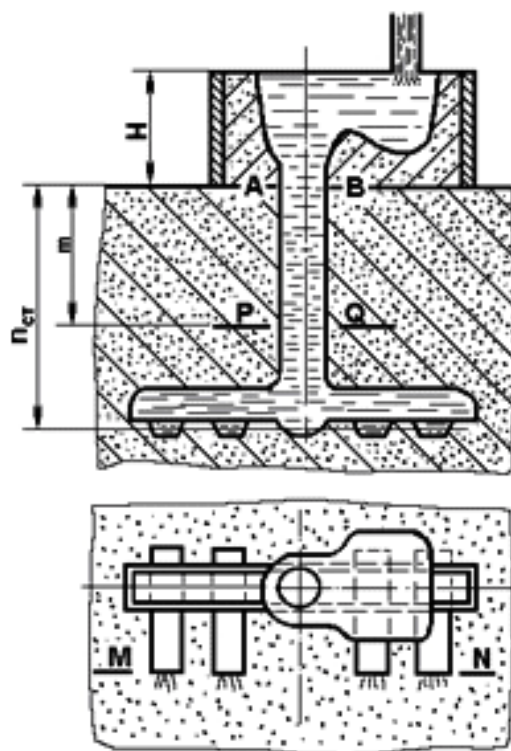


Рис. 1.8. Литниковые системы вида IIIВ при применении литниковой воронки (*а*) и чаши (*б*)

Если стояк быстро заполняется сплавом, то мы имеем *системы вида IIIД* (при $\omega_{\text{шл}} < \omega_{\text{пит}}$ или $\omega_{\text{ст.н}} < \omega_{\text{пит}}$), которые замкнуты в стояке, но не замкнуты в питателях. Узким местом в этих системах будет или сечение шлакоуловителя, или нижнее сечение стояка. Расчетный напор определя-

ется по формуле Дитерта (1.5). Системы вида IID чаще всего применяются при литье легкоокисляющихся и вспенивающихся сплавов.

1.2.4. Литниковые системы IV класса

При заполнении высоких отливок возникает необходимость в подводе расплава на нескольких уровнях. При этом горячий металл последовательно поступает через питатели на поверхность поднимающегося в полости формы расплава, что обеспечивает качественное заполнение формы и направленное затвердевание отливки. Однако практическая реализация данного режима заполнения формы предъявляет специфические требования к конструированию и расчету литниковой системы.

Литниковые системы данного типа, называемые *ступенчатыми*, отнесены Г. М. Дубицким к IV классу. На рис. 1.9 приведены схемы работы литниковых систем видов IVA и IVB.

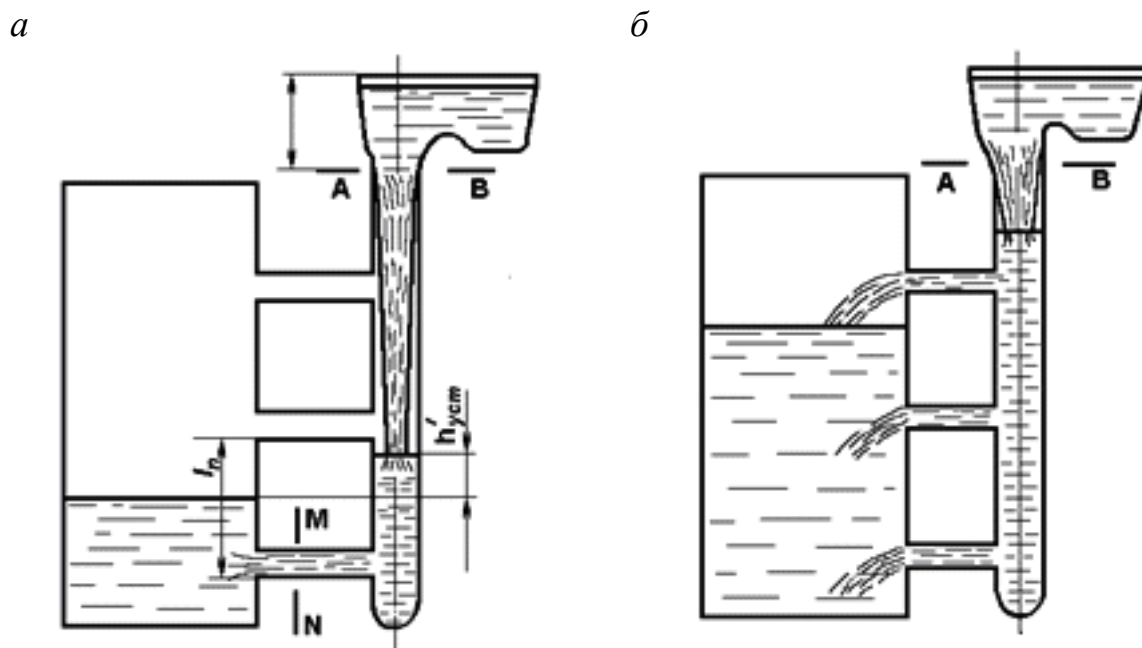


Рис. 1.9. Литниковые системы видов IVA (a) и IVB (б)

К системам вида IVA относят системы, не замкнутые в стояке. Они рассчитаны так, чтобы вначале действовали только питатели на нижнем уровне. Площадь сечения нижнего питателя определяется таким образом, чтобы установившаяся высота уровня сплава в стояке $h'_{уст}$ не превышала расстояния между двумя соседними питателями. По мере подъема уровня сплава в форме выше нижнего питателя уровень сплава в стояке повышается. При этом разность уровней сплава в стояке и полости формы будет

равна $h'_{уст}$. После подхода сплава в стояке к следующему питателю через него начнется истечение расплава в форму. При этом начальная высота падения струи на поверхность расплава в форме равна $h'_{уст}$.

Максимально допустимая с точки зрения качества заполнения формы высота падения струи h_{\max} различна для разных сплавов. Чем больше сплав склонен к окислению, тем меньше величина h_{\max} .

При расчете литниковых систем необходимо обеспечить выполнение условия $h'_{уст} \leq h_{\max}$. В качестве расчетного сечения системы вида IVA выбирают верхнее сечение стояка. Расчетный напор H_p принимают равным высоте расплава H_q в чаше над верхним сечением стояка. Площадь сечения AB определяют по формуле (1.4).

По известным значениям ω_{AB} и $h'_{уст}$ площадь сечения питателей на нижнем уровне определяют по формуле

$$\omega_{MN} = \omega_{AB} \cdot \frac{\mu_1 \cdot \sqrt{H_q}}{\mu_2 \cdot \sqrt{h'_{уст}}}, \quad (1.6)$$

где μ_1 и μ_2 – коэффициенты расхода системы в сечениях AB и MN .

Методика расчета ступенчатых систем будет рассмотрена далее.

В системах вида IVB уровень металла в стояке очень быстро достигает сечения AB , т. е. $h'_{уст}$ больше высоты стояка. Очевидно, что при этом все питатели по высоте стояка начинают работать одновременно. Данная система будет замкнута в стояке. Одновременное истечение расплава из питателей со всех уровней приводит к окислению и разбрызгиванию металла, размыванию стенок формы, т. е. не обеспечивает качественного заполнения формы. Поэтому системы вида IVB на практике не применяются.

Характер гидравлических процессов в литниковых системах разных видов, а также методика расчета литниковых систем зависят от типа применяемых разливочных ковшей.

1.3. Типы разливочных ковшей и технология заливки форм

Для заливки литейных форм применяют различные конструкции разливочных ковшей, которые с гидродинамической точки зрения можно разделить на два типа, отличающихся способом регулирования расхода

жидкого сплава, подаваемого из ковша в литниковую систему: поворотные и стопорные.

При литье из *поворотных ковшей* (рис. 1.10) обеспечивается плавное регулирование расхода сплава за счет изменения угла наклона ковша. При этом качественное заполнение формы без разбрызгивания струи и размывания ею поверхности литниковых каналов обеспечивается лишь в некотором диапазоне массовой скорости заливки, определяемом емкостью ковша и его конструкцией.

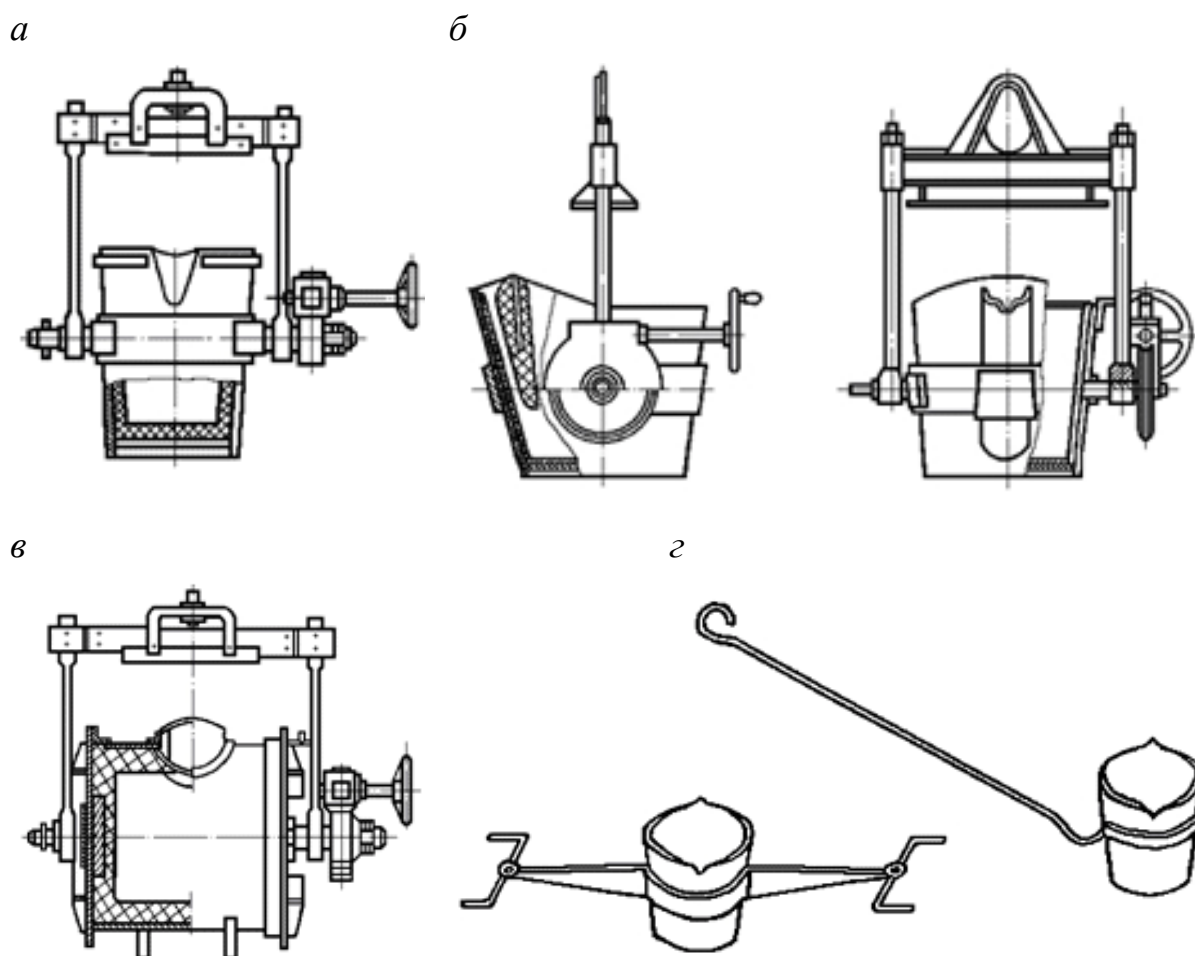


Рис. 1.10. Типы поворотных ковшей:

а – конический; *б* – чайниковый; *в* – барабанный; *z* – ручные

Для заливки каждой формы нужно выбирать такой ковш, который может подавать требуемое количество металла в единицу времени, т. е. необходимая массовая скорость заливки не должна выходить за допустимые пределы, характерные для данного ковша. Допустимые пределы из-

менения массовой скорости заливки форм из поворотных ковшей приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Массовые скорости разливки чугуна из поворотных ковшей

Тип ковша	Скорость разливки, кг/с, при скорости поворота ковша		
	малой	средней	большой
Ручные ковши:			
для одного заливщика	2,0–2,5	2,5–3,5	3,5–5,0
для двух заливщиков	3,0–4,0	3,0–5,5	5,5–7,0
Крановые ковши средней емкости (до 5 т)	5,0–6,5	6,5–8,5	8,5–10,5
Крановые ковши большой емкости (до 15 т)	15–30	30–50	50–100

Возможность плавного изменения расхода сплава из поворотного ковша в процессе заливки формы является его существенным преимуществом. При правильном выборе емкости ковша заливщик может легко поддерживать постоянный уровень сплава в литниковой чаше или воронке, плавно изменяя при необходимости угол наклона ковша. Однако при использовании поворотных ковшей велика вероятность попадания шлака с поверхности металла в ковш в литниковую систему.

Для задержания шлака при заливке применяют деревянные или металлические счищальки или ковши специальной конструкции – чайниковые ковши (рис. 1.10, б). При применении конических ковшей (рис. 1.10, а) часто около носка ковша устанавливают перегородки.

К недостаткам поворотных ковшей можно отнести значительные потери тепла сплавом с открытой верхней поверхностью и с истекающей из ковша струей металла. Для снижения потерь тепла необходимо:

- нагревать ковш перед наполнением сплавом до 500–750 °С;
- на поверхность чугуна в ковш насыпать песок (древесный уголь);
- при заливке носок ковша подводить возможно ближе к литниковой чаше или воронке (на высоту 50–100 мм).

При применении ручных ковшей они разогреваются переливом металла в раздаточный ковш и обратно. Для уменьшения потерь тепла применяют барабанные ковши (рис. 1.10, в), которые часто используются в качестве раздаточных.

В процессе заливки форм температура чугуна в ковше снижается на 5–40 град/мин в зависимости от его емкости и конструкции. Поэтому в первую очередь из поворотных ковшей заливают формы для наиболее тонкостенных отливок. Поворотные ковши применяются при разливке чугуна и цветных сплавов, а также кислой электростали при массе отливок не более 3–5 т. Шлак кислой электроплавки вязкий, что затрудняет его попадание с поверхности стали в ковше в литниковую систему.

При заливке из *стопорных ковшей* (рис. 1.11) расход сплава из ковша Q_k определяется высотой уровня сплава в ковше H и площадью сечения отверстия в стопорном стаканчике ω_o , устанавливаемом в днище ковша.

$$Q_k = \mu_k \cdot \beta_p \cdot \omega_o \cdot \sqrt{2g \cdot H}, \quad (1.7)$$

где μ_k – коэффициент расхода в сечении стаканчика;

β_p – коэффициент, учитывающий увеличение проходного сечения отверстия стаканчика из-за его размывания струей металла.

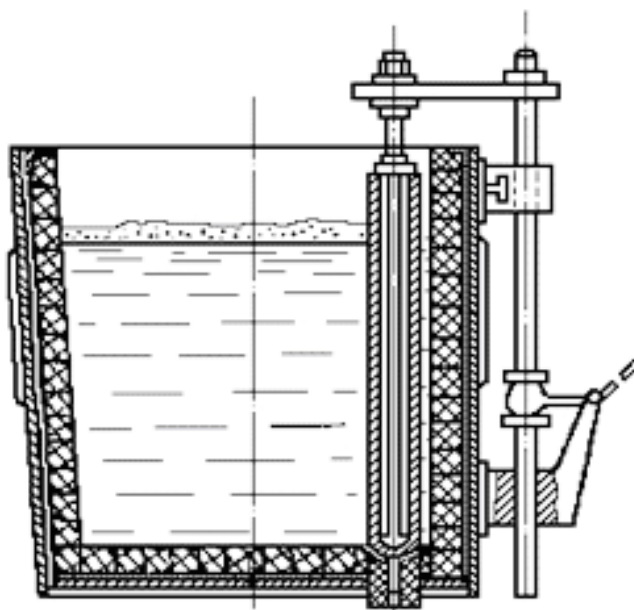


Рис. 1.11. Схема конструкции стопорного ковша

При разливке углеродистой и низколегированной стали из ковшей емкостью до 30 т величина β_p изменяется от 1 (в начале заливки) до 1,15 (при опускании уровня стали в ковше на 130 см); в ковшах емкостью более 30 т – от 1 до 1,25 (при опускании уровня стали на 130 см). При разливке высокомарганцовистой стали из ковшей емкостью до 15 т β_p изменяется от 1 до 1,35 (при опускании уровня стали на 110 см).

Так как в процессе заливки формы из стопорного ковша величина ω_0 задана и определяется площадью отверстия в установленном в ковше стаканчике, а высота уровня сплава в ковше не может изменяться произвольно, то возможности регулирования расхода сплава из данного ковша ограничены. Это является его существенным недостатком по сравнению с поворотным ковшом.

Однако при разливке из стопорного ковша струя сплава вытекает из его донной части, что исключает попадание шлака в литниковую систему. Так как расстояние от низа ковша до литниковой воронки мало (не более 250 мм), то потери тепла при разливке меньше, чем при использовании поворотных ковшей. Эти обстоятельства обусловили преимущественное использование стопорных ковшей при заливке форм сталью.

К недостаткам стопорных ковшей следует отнести сложность их конструкции и недостаточную надежность. При большом числе открываний и закрываний стопорного отверстия очень часто стопор перестает плотно перекрывать отверстие или происходит его приваривание к стаканчику. При этом возникает аварийная ситуация. Поэтому при подготовке ковшей к работе большое внимание уделяется сборке и прокалке стопора, притирке пробки стопора к отверстию в стаканчике и сборке стопорного узла и механизма управления стопором.

Перед заполнением сталью ковша должны быть прокалены и нагреты до температуры 700–800 °С. В ковшах емкостью более 5 т часто устанавливают два стопора и два стопорных стаканчика. Это позволяет осуществлять разливку через одно или два отверстия, изменять массовую скорость заливки. В сталелитейном производстве в основном используются стопорные ковша емкостью от 1 до 30 т.

В начале разливки стали из стопорного ковша часть тепла вытекающей из ковша струи затрачивается на разогрев стаканчика. Поэтому вначале необходимо залить несколько массивных отливок, затем, когда стаканчик прогреется, следует соблюдать тот же порядок заливки, что и при литье из поворотных ковшей.

Рекомендуемые значения $T_{\text{зал}}$ при заливке форм чугуном, сталью и некоторыми цветными сплавами приведены в табл. 1.4–1.6.

Таблица 1.4

Рекомендуемые температуры заливки чугуна

Группа отливок	Толщина стенки отливки, мм	Температура заливки, °С
Отливки из серого и высокопрочного чугуна	До 4	1450–1360
	4–10	1430–1340
	10–20	1400–1320
	20–50	1380–1300
	50–100	1340–1230
	Св. 100	1300–1200
Отливки из ковкого чугуна	До 4	1480–1380
	4–10	1460–1350
	10–20	1430–1350

Таблица 1.5

Рекомендуемые температуры заливки стали

Группа отливок	Сложность конфигурации отливок, химический состав сплава	Толщина стенки отливки, мм	Масса отливки, кг	Температура заливки, °С
<i>Отливки из углеродистых и низколегированных сталей (содержание углерода 0,2–0,4 %)</i>				
1	Сложные тонкостенные отливки	6–20	До 100	1435–1410
1а	То же	15–25	До 500	1430–1405
1б	»	20–30	До 3000	1425–1405
2	Отливки средней массы	30–75	До 5000	1420–1400
3	Отливки большой массы	75–100	5000–25000	1425–1400
4	Тяжелые толстостенные отливки	150–500	Св. 25000	1410–1395
5	Массивные отливки простой конфигурации	Св. 500	Св. 25000	1410–1365
<i>Отливки из легированных сталей</i>				
6	Отливки из марганцовистой стали	–	–	1380–1360
7	Отливки из хромоникелевой высоколегированной стали	–	–	1435–1410

Таблица 1.6

Рекомендуемые температуры заливки некоторых цветных сплавов

Сплавы	Толщина стенки отливки, мм	Температура заливки, °С
Силумины	До 10	730–710
	10–20	710–700
	Св. 20	700–690
Остальные алюминиевые сплавы	–	750–640
Оловянные бронзы	До 10	1180–1150
	10–20	1170–1130
	Св. 20	1130–1100
Алюминиевые бронзы	До 10	1130–1100
Кремнистые латуни	До 10	1150–1100
	10–20	1100–1050
	Св. 20	1050–1000

1.4. Выбор уровня и места подвода сплава к полости формы

При выборе уровня подвода сплава необходимо учитывать достоинства и недостатки как подвода сверху, так и подвода снизу.

При *подводе сверху* обеспечивается положительный температурный градиент в направлении к прибыли, что улучшает условия ее работы и увеличивает заполняемость формы. Однако при большой высоте отливки происходит окисление падающей струи, захват газов и разрушение нижних поверхностей формы. Максимальная допустимая высота падения струи зависит от свойств сплава и формовочных материалов. Например, для углеродистой стали она составляет 300–400 мм, для алюминиевых сплавов – 80 мм, для магниевых сплавов – 40 мм.

При *подводе снизу* металл в прибыль приходит холодным, что затрудняет получение плотных отливок. Кроме того, при подводе снизу уменьшается заполняемость форм, что требует увеличения скорости заливки. Вследствие большого действующего напора увеличивается вероятность размыва стенок литниковых каналов. Поэтому при изготовлении высоких отливок литниковые каналы следует выполнять с использованием огнеупоров.

Подвод сверху желателен при изготовлении массивных толстостенных чугунных и стальных отливок, имеющих небольшую высоту. Подвод снизу целесообразно применять для тонкостенных отливок сложной конфигурации,

а также для сплавов, склонных к окислению. Однако ввиду ухудшения при этом заполняемости форм подвод снизу пригоден только для отливок не большой высоты. С точки зрения удобства формовки на практике чаще всего подвод сплава осуществляется на некотором среднем уровне, отвечающем плоскости разъема формы. При этом нижняя часть отливки заполняется сверху, а верхняя – снизу. Если условия получения качественной отливки не выполняются, то следует применять подвод на нескольких уровнях или через вертикально-щелевую систему.

Сформулируем основные *рекомендации по выбору места подвода сплава*:

1. Следует обеспечивать подвод металла в такие места отливки, разогрев которых будет способствовать усилению направленного затвердевания. В этом смысле целесообразно подводить металл под прибыль в толстостенные части отливки. Это особенно важно при изготовлении отливок из сплавов с большой объемной усадкой (сталь, ковкий чугун и т. п.).

2. Если отливка склонна к образованию внутренних напряжений (арматурные и колесные отливки из чугуна и стали, отливки из ковкого чугуна и др.), следует подводить металл таким образом, чтобы уменьшить температурные перепады в ее частях. Во многих случаях целесообразно осуществлять подвод металла в тонкие части отливки. Но тогда требование снижения литейных напряжений будет противоречить требованию обеспечения направленного затвердевания. Улучшения условий питания отливки в этом случае нужно добиваться другими, не связанными с заливкой мероприятиями (установкой прибылей, применением холодильников и теплоизолирующих вставок и т. д.).

3. Следует избегать размещения литниковых каналов вблизи границ знаков стержней, поверхности форм и стенок опоки (расстояние между ними должно быть не менее 30–60 мм).

4. Необходимо стремиться к созданию одностороннего движения металла в форме, т. е. размещать питатели так, чтобы движение металла осуществлялось в одну сторону и было исключено встречное движение струй.

5. При изготовлении отливок колесного типа целесообразно подводить металл в ступицу и в обод или только в обод. При наличии массивной ступицы целесообразно подводить металл только в обод. Это обеспечит меньшие литейные напряжения.

6. Подвод металла к относительно тонкостенной отливке следует осуществлять в тонкостенные части через большое число питателей, рассредоточенных по ее длине.

7. Следует стремиться к осуществлению подвода металла в форму при заполнении ее наиболее коротким путем.

На рис. 1.12–1.15 приведены примеры реализации данных рекомендаций.

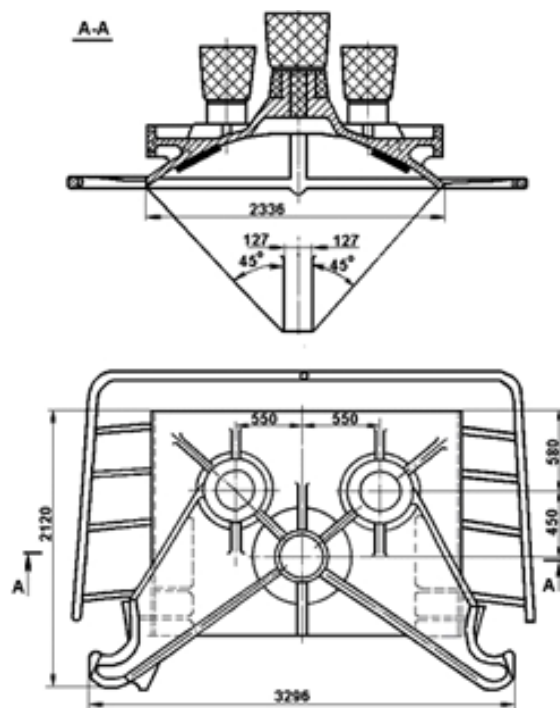


Рис. 1.12. Схема подвода металла к стальной отливке «Лапа чугуновоза» (подвод в тонкие части)

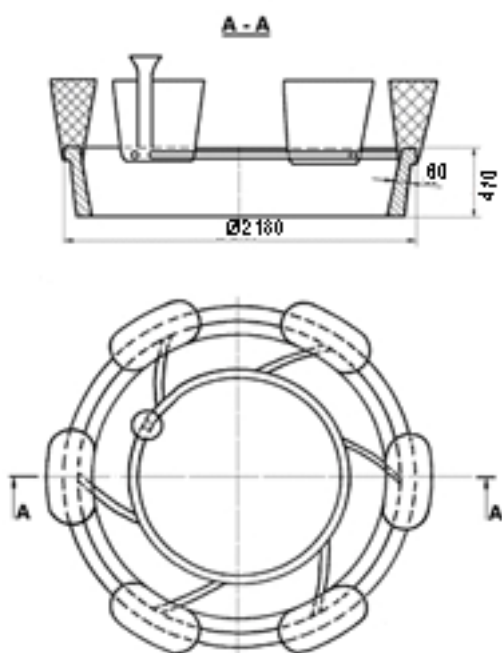


Рис. 1.13. Схема подвода металла в толстостенные части отливки

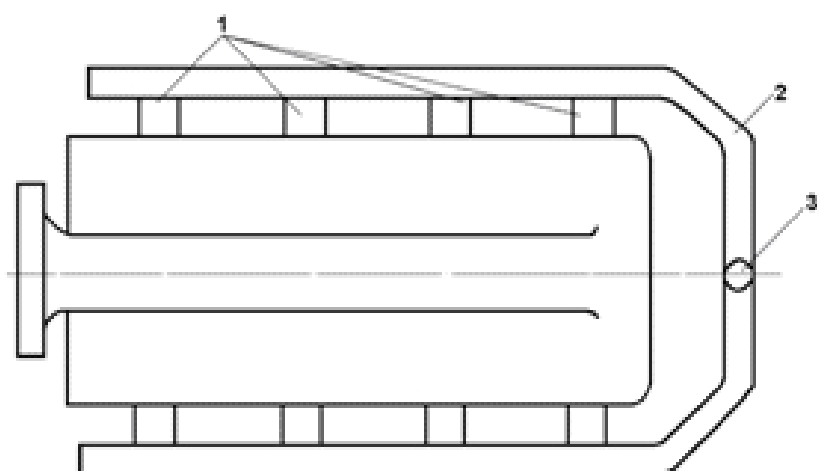
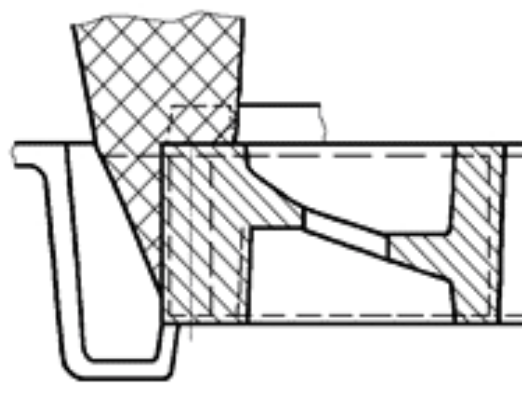
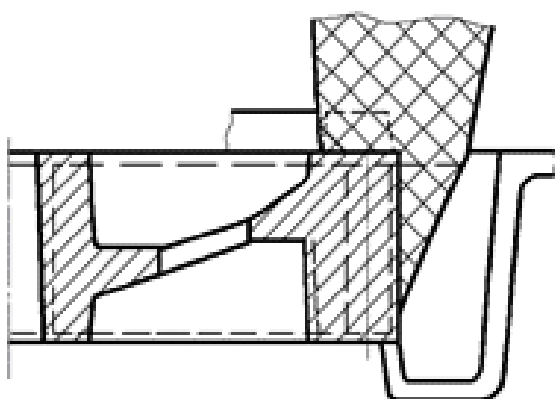


Рис. 1.14. Рассредоточенный подвод металла:

1 – питатели; 2 – шлакоуловитель; 3 – стояк

a

б



в

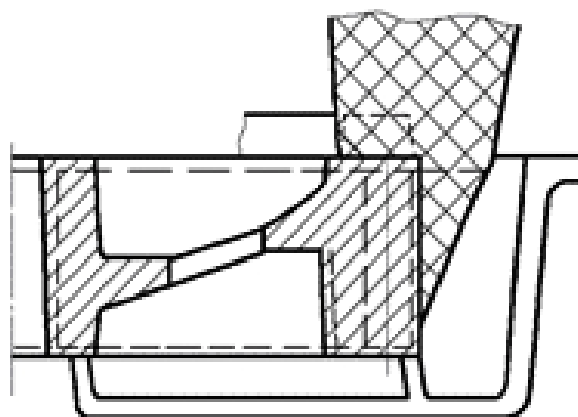


Рис. 1.15. Подвод металла к отливке «Зубчатое колесо»:

a–в – способы подвода сплава

1.5. Расчет литниковых систем при заливке из поворотных ковшей

Поворотный ковш обеспечивает за счет изменения угла его наклона плавное регулирование массовой скорости заливки. При правильном выборе ковша (см. п. 1.3) и соответствующем конструировании литниковой системы обеспечивается быстрое заполнение стояка сплавом и поддержание постоянного уровня сплава в литниковой чаше или воронке. Продолжительность заполнения формы определяется площадью сечения узкого места литниковой системы и действующим гидростатическим напором. В процессе заливки расход сплава из ковша за счет изменения его наклона согласовывается с расходом через литниковую систему.

Расчет литниковой системы осуществляется в указанной ниже последовательности.

1. *Расчет оптимальной продолжительности заливки формы.* Для расчета оптимальной продолжительности заливки на практике для отливок из разных сплавов широко применяют формулу (1.1), предложенную Г. М. Дубицким.

2. *Выбор элемента литниковой системы, являющегося узким местом.* Выбор узкого места системы и определение действующего в нем гидростатического напора осуществляется в зависимости от типа литниковой системы (см. п. 1.2) и склонности заливаемого сплава к вспениванию и окислению. При литье сплавов, не склонных к окислению и вспениванию (чугун, углеродистые и малолегированные стали, большинство медных сплавов), в качестве узкого места чаще всего принимают питатели. При литье легкоокисляющихся и вспенивающихся сплавов (алюминиевые и магниевые сплавы, алюминиевые бронзы и латуни, высоколегированные стали) в качестве узкого места выбирают нижнее сечение стояка или шлакоуловитель. При этом необходимо обеспечить замкнутость системы в стояке (см. п. 1.2).

3. *Расчет площади узкого места системы.* Площадь узкого места системы рассчитывают по формуле (1.4). При этом определяется площадь нижнего сечения стояка, или суммарная площадь сечений ветвей шлакоуловителя, или суммарная площадь питателей, через которые сплав подводится к полости формы. Значения коэффициентов расхода приведены в табл. 1.7–1.12.

Коэффициент расхода определяется потерями напора и давлением металла в форме на выходе из питателей. Увеличение давления в форме приводит к снижению коэффициента расхода, так как уменьшается действующий напор. Давление в полости формы зависит от ее газопроницаемости, наличия выпоров и открытых прибылей, влажности смеси и т. д. Влияние этих факторов на коэффициент расхода отражено в табл. 1.8. Сопротивление формы считается большим, если в ней имеется большое количество стержней и много резких изменений поперечных сечений стенок отливки.

Таблица 1.7

Значения коэффициента расхода для чугунных и стальных отливок

Сплав и способ заливки	Сопротивление формы		
	большое	среднее	малое
Чугун:			
заливка в сырую форму	0,35	0,42	0,50
заливка в сухую форму	0,41	0,48	0,70
Сталь:			
заливка в сырую форму	0,25	0,32	0,42
заливка в сухую форму	0,30	0,38	0,50

Таблица 1.8

Поправки к значениям коэффициента расхода

Фактор, влияющий на величину коэффициента	Поправка к значению
Повышение температуры заливки на 50 °С	До $\pm 0,05$
Наличие открытых выпоров и прибылей	От $+0,05$ до $+0,20$
Большое сечение стояка и шлакоуловителя по сравнению с сечением питателей	От $+0,05$ до $+0,20$
Малая газопроницаемость формы (отсутствие выпоров и прибылей)	До $-0,05$

Таблица 1.9

Значения коэффициента расхода для отливок из ковкого чугуна

Расчетное сечение узкого места	Значение
Верхнее сечение стояка	$0,76 \pm 0,05$
Отверстия фильтровальной сетки, расположенной:	
над стояком	$0,64 \pm 0,10$
внизу стояка	$0,55 \pm 0,10$
Нижнее сечение стояка, шлакоуловителя и шейки прибыли	$0,47 \pm 0,10$

Таблица 1.10

Значения коэффициента расхода для алюминиевых сплавов

Сечение узкого места, способ заливки	Значение
Стояка вверх, в подогретые кокили	$0,75 \pm 0,10$
Стояка вниз, в подогретые кокили	$0,64 \pm 0,10$
Питателей, в песчаные формы и подогретые кокили	$0,55 \pm 0,10$

Таблица 1.11

Значения коэффициента расхода для отливок из магниевых сплавов

Сечение узкого места	Значение
Стояка вверх	$0,80 \pm 0,10$
Стояка вниз	$0,70 \pm 0,10$
Шлакоуловителя	$0,60 \pm 0,10$
Литниковых каналов, расположенных далеко от воронки или чаши	$0,55 \pm 0,10$

Таблица 1.12

Значения коэффициента расхода для отливок из медных сплавов

Сплав	Положение узкого места	Значение
БрОЦС 3,5–6–5	Отверстия фильтровальной сетки под стояком	$0,40 \pm 0,10$
Латунь ЛС59–1Л	Нижнее сечение стояка	$0,35 \pm 0,10$
	Питатели	$0,30 \pm 0,10$
	Питатели	$0,41 \pm 0,10$

4. *Расчет площадей остальных элементов литниковой системы.* Определение площадей остальных элементов литниковой системы осуществляется по эмпирическим соотношениям, зависящим от сплава и положения узкого места системы. На основании практического опыта можно рекомендовать следующие соотношения [4, 16, 18]:

- для заливки чугуна и стали (при литье из поворотных ковшей)

$$\omega_{\text{пит}} : \omega_{\text{шл}} : \omega_{\text{ст}} = 1 : 1,2 : 1,4;$$

- для заливки углеродистой стали из стопорного ковша

$$\omega_{\text{пит}} : \omega_{\text{шл}} : \omega_{\text{ст}} = 1 : 1,15 : 1,3;$$

- при высоком качестве формовочных смесей и применении сифонного огнеупорного припаса для оформления литниковых каналов

$$\omega_{\text{пит}} : \omega_{\text{шл}} : \omega_{\text{ст}} = 1 : 1 : 1;$$

- для заливки высоколегированной стали

$$\omega_{\text{пит}} : \omega_{\text{шл}} : \omega_{\text{ст.н}} = (1,33 \div 2) : (1,33 \div 2) : 1;$$

- для отливок из латуни ЛЦ40С

$$\omega_{\text{пит}} : \omega_{\text{шл}} : \omega_{\text{ст}} = 1 : 1,3 : 1,6.$$

Литниковые системы для отливок из ковкого чугуна отличаются рядом особенностей, поэтому ниже они будут рассмотрены отдельно.

При литье алюминиевых и магниевых сплавов узким местом литниковой системы является нижнее сечение стояка. В зависимости от конфигурации, размеров и массы отливок применяют соотношения площадей элементов литниковой системы, приведенные в табл. 1.13.

Таблица 1.13

Рекомендуемые соотношения площадей элементов литниковой системы для алюминиевых и магниевых сплавов

Масса отливок без прибылей, кг		Соотношение площадей сечений стояка, коллектора и питателей ($\omega_{\text{ст.н}} : \omega_{\text{колл}} : \omega_{\text{пит}}$) для группы отливок			
Алюминиевые сплавы	Магниевые сплавы	I	II	III	IV
До 5	До 3,5	1 : 2 : 2	1 : 2 : 3	—	—
5–10	3,5–7,0	1 : 2 : 2	1 : 2 : 3	1 : 2 : 4	1 : 3 : 3
10–20	7–14	1 : 2 : 3	1 : 2 : 4	1 : 3 : 3	1 : 3 : 4
20–40	14–28	1 : 2 : 4	1 : 3 : 3	1 : 3 : 4	1 : 4 : 4
40–70	28–50	1 : 2 : 4	1 : 3 : 4	1 : 4 : 4	1 : 4 : 5
70–150	50–100	1 : 3 : 4	1 : 3 : 5	1 : 4 : 4	1 : 4 : 5
Св. 150	Св. 100	1 : 4 : 4	1 : 4 : 5	1 : 4 : 6	—

К группам I, II, III и IV отнесены отливки высотой соответственно до 150, от 150 до 450, от 450 до 750 и свыше 750 мм.

Используя указанные соотношения, по известной площади узкого места можно определить площади остальных элементов системы.

5. *Конструирование литниковой системы и определение размеров ее элементов.* Вопросы конструирования литниковых систем рассмотрены в п. 1.9.

1.6. Расчет литниковых систем при заливке из стопорных ковшей

При заливке из стопорных ковшей продолжительность заливки формы определяется расходом сплава из ковша Q_k , который в соответствии с формулой (1.7) зависит от площади отверстия стаканчика и уровня сплава в ковше H .

В процессе заполнения формы уровень сплава в ковше опускается с высоты H'_1 до H''_1 . На рис. 1.16 приведена схема положения жидкого сплава в ковше и в полости формы в начальный и конечный моменты ее заполнения. Очевидно, что при заполнении формы напор в ковше H , а следовательно, и расход уменьшаются. Для характеристики расхода из ковша при заполнении данной формы используем значение среднего напора $H_{\text{ср}}$, удовлетворяющее уравнению

$$H_{\text{ср}} = \frac{\sqrt{H'_1} + \sqrt{H''_1}}{2}. \quad (1.8)$$

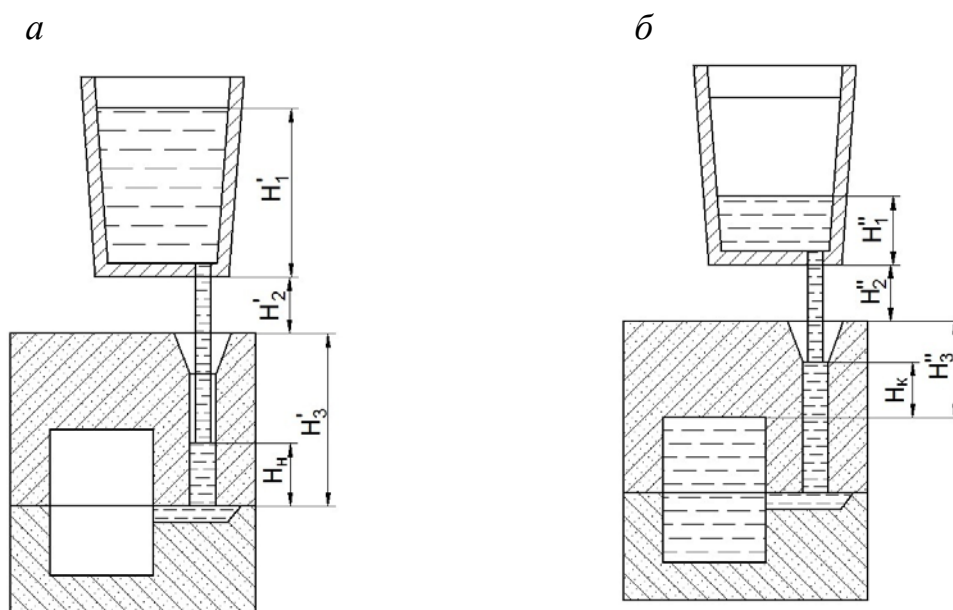


Рис. 1.16. Схема к расчету параметров стопорного ковша:

а – начальный момент заливки; *б* – завершающий момент заливки

При этом расход равен $Q_k = \beta_p \cdot \omega_o \cdot \mu_k \cdot \sqrt{2gH_{cp}}$. При таком расходе продолжительность заливки формы может быть определена из следующего балансного уравнения:

$$\frac{G_{ж}}{\rho \cdot \tau_{зал}} = \beta_p \cdot \omega_o \cdot \mu_k \cdot \sqrt{2gH_{cp}}. \quad (1.9)$$

Как видно из данного уравнения, продолжительность заливки одинаковых форм, последовательно заливаемых из ковша, увеличивается по мере его опорожнения. Поэтому, рассматривая строго, за оптимальное время из стопорного ковша можно залить лишь одну форму. При этом заливку формы следует выполнять при среднем уровне сплава в ковше H_{cp} , удовлетворяющем уравнению (1.8). Это усложняет организацию заливки форм из стопорных ковшей.

Как было отмечено в п. 1.1, качественное заполнение формы обеспечивается, если продолжительность заливки удовлетворяет условию

$$\tau_{опт} / 1,2 \leq \tau_{зал} \leq 1,2\tau_{опт}.$$

Если первую отливку залить за время $\tau_{зал} = \tau_{опт} / 1,2$, то время заполнения последующих форм будет больше вследствие уменьшения величины H_{cp} . Очевидно, что заполнение форм для данных отливок следует закончить при таком значении H_{cp} , при котором время заливки не больше $1,2\tau_{опт}$. Далее следует заливать формы для других отливок с бóльшим значением оптимального времени заливки $\tau_{опт}$. Начальный и конечный напоры в ковше при заполнении формы удовлетворяют следующему балансному уравнению:

$$\frac{G_{ж}}{\rho} = \frac{\pi \cdot D_k^2}{4} \cdot (H'_1 - H''_1), \quad (1.10)$$

где D_k – средний внутренний диаметр ковша.

В уравнении (1.10) левая часть представляет собой объем сплава, залитого в форму, а правая часть – объем сплава, вытекающего из ковша.

Таким образом, при литье из стопорных ковшей продолжительность заливки определяется параметрами ковша (H'_1 , H_1 и ω_o).

Литниковая система должна быть рассчитана так, чтобы ее пропускная способность соответствовала расходу сплава из ковша.

Для расширения возможностей стопорного ковша с точки зрения регулирования расхода Q_k на практике часто применяют торможение струи стопором. При этом отверстие в стаканчике открывается не полностью, что позволяет при заданных значениях ω_o и H_{cp} уменьшить расход металла из ковша. При торможении струи стопором расход из ковша вычисляют по формуле

$$Q_k = \frac{\beta_p}{\beta_t} \cdot \omega_o \cdot \mu_k \cdot \sqrt{2g \cdot H_{cp}}, \quad (1.11)$$

где β_t – коэффициент торможения струи, характеризующий отношение расхода из ковша без торможения струи к расходу с торможением струи стопором.

Очевидно, что коэффициент торможения струи удовлетворяет неравенству $1 \leq \beta_t \leq \infty$. Он равен бесконечности при полностью закрытом отверстии стаканчика и единице при полностью открытом отверстии. Однако при сильном торможении струи она теряет свою компактность и разбрызгивается, что исключает качественное заполнение формы. С этой точки зрения, как показывают практические данные, коэффициент торможения не должен превышать 1,3 [4, 16], т. е. в процессе заливки за счет изменения положения стопора заливщик должен обеспечить выполнение неравенства $1 \leq \beta_t \leq 1,3$. Для того чтобы это условие соблюдалось, значения ω_o и H_{cp} при заливке первой и последней формы должны быть определены путем соответствующих расчетов.

Оптимальная продолжительность заполнения формы обеспечивается при заливке с торможением струи литниковой системой, расчет площади узкого места которой осуществляется по формуле (1.4). В процессе заливки формы заливщик путем торможения струи стопором обеспечивает поддержание постоянного уровня сплава в литниковой воронке.

1.6.1. Последовательность расчета литниковых систем при заливке из стопорных ковшей без торможения струи

Вначале составляют схему заливки в соответствии с рис. 1.16 и определяют величины H_p , H'_3 и H''_3 . Затем выбирают конструкцию литниковой системы, количество ветвей литникового хода и число питателей, подво-

дящих сплав к полости формы. Далее расчет ведут в указанной ниже последовательности.

1. *Расчет оптимальной продолжительности заливки* осуществляется по формуле (1.1).

2. *Расчет параметров ковша* (H'_1 , H''_1 и ω_0) проводится путем решения системы уравнений (1.8)–(1.10). Коэффициент расхода при истечении через отверстие ковша $\mu_k = 0,8$. Коэффициент размыва стопорного стаканчика β_p при разливке углеродистой стали изменяется от 1 в начале заливки до 1,25 в конце заливки (при опускании уровня металла в ковше на 130 см); при разливке высокомарганцовистой стали β_p изменяется от 1 до 1,35 (при опускании уровня на 110 см). В расчетах следует применять средние значения.

В данной системе уравнений 4 неизвестных (H_p , H'_3 и др.), поэтому следует задаться дополнительными параметрами. Чаще всего задаются диаметром стаканчика, а рассчитывают площади остальных элементов литниковой системы.

На практике применяются стаканчики с диаметром отверстия от 25 до 75–90 мм. Для отливок массой 100–150 кг выбирают стаканчики с диаметром отверстия 30–35 мм, для отливок массой 1–1,5 т – с диаметром 40 мм, для крупных отливок – с диаметром 50–60 мм.

Расчет проводим следующим образом. Подставив в уравнение (1.9) вместо $\tau_{\text{зал}}$ величину $\tau_{\text{опт}} / 1,2$, при выбранном значении ω_0 вычисляем $(H_{\text{ср}})_1$ для заливки первой формы. Из уравнений (1.8) и (1.10) находим значения $(H'_1)_1$ и $(H''_1)_1$ для первой формы.

Подставляя в уравнение (1.9) вместо $\tau_{\text{зал}}$ величину $1,2\tau_{\text{опт}}$, аналогично рассчитываем $(H_{\text{ср}})_{\text{посл}}$ для заливки последней формы. Затем, решая систему уравнений (1.8) и (1.10), находим значения $(H'_1)_{\text{посл}}$ и $(H''_1)_{\text{посл}}$ для последней формы. Количество заливаемых форм определяем по формуле

$$N = \frac{\rho}{G_{\text{ж}}} \cdot \frac{\pi D_k^2}{4} [(H'_1)_1 - (H'_1)_{\text{посл}}] + 1. \quad (1.12)$$

3. *Выбор узкого места системы* осуществляется так, как указано в п. 1.5.

4. *Расчет площади узкого места системы* проводится следующим образом. В отличие от заливки форм из поворотных ковшей, где продолжительность заливки определяется сечением узкого места литниковой сис-

темы, а наклон ковша выбирают так, чтобы уровень металла в чаше или воронке поддерживался постоянным, при литье из стопорных ковшей (без торможения струи) продолжительность заливки определяется параметрами ковша. Площадь узкого места системы выбирается исходя из равенства расходов сплава из ковша и через литниковую систему.

Если расход через литниковую систему меньше расхода из ковша, то металл будет переливаться через край воронки, что недопустимо. Если расход через литниковую систему будет больше расхода из ковша, то уровень металла в стояке опустится, и при низком уровне металла в стояке возможен прорыв газов в литниковую систему. Исходя из равенства расходов сплава получаем следующие формулы для расчета площади узкого места для начального и конечного моментов заполнения первой и последней заливаемой формы:

$$\omega_{уз} = \beta'_p \cdot \omega_o \frac{\mu_k}{\mu} \cdot \frac{\sqrt{H'_1}}{\sqrt{h_n}}, \quad (1.13)$$

$$\omega_{уз} = \beta''_p \cdot \omega_o \frac{\mu_k}{\mu} \cdot \frac{\sqrt{H''_1}}{\sqrt{h_k}}, \quad (1.14)$$

где ω_o – площадь отверстия стопорного стаканчика;

μ – коэффициент расхода литниковой системы (см. п. 1.5);

β'_p – средний коэффициент размыва стаканчика;

H'_1 и H''_1 – начальный и конечный уровни металла в ковше для данной формы;

h_n и h_k – начальный и конечный уровни металла в стояке; $h_n = H'_3 - (5 \div 10)$ см; $h_k = H''_3 - (5 \div 10)$ см (см. рис. 1.16);

$\mu_k = 0,8$.

При расчете для заливки первой формы вместо величин H , H'_1 в формулы подставляют рассчитанные значения $(H'_1)_1$ и $(H''_1)_1$, а для заливки последней формы – соответственно значения $(H'_3)_{\text{посл}}$ и $(H''_3)_{\text{посл}}$.

Из полученных четырех значений $\omega_{уз}$ выбираем наибольшее, чтобы исключить переливание металла через край воронки. Расчетные значения площади узкого места, полученные для последней формы, будут меньше, чем для первой формы, так как значения уровней металла в ковше меньше.

Поэтому при принятом наибольшем значении площади узкого места уровень металла в стояке при заливке последней формы снизится. Однако, как показывают расчеты, уровень сплава в стояке в данном случае находится на достаточной с точки зрения обеспечения качественного заполнения формы высоте.

Г. М. Дубицким предложен уточненный метод расчета величин h_n и h_k с учетом кинетической энергии струи [4]. Поскольку этот метод применяется редко (только для крупных отливок), то здесь он не приводится.

5. Расчет площадей остальных элементов системы проводится по соотношениям, приведенным выше (см. п. 1.5).

6. Конструирование литниковой системы и расчет размеров ее элементов рассмотрены в п. 1.9.

1.6.2. Последовательность расчета литниковых систем при заливке из стопорных ковшей с торможением струи

Расчет литниковых систем ведут в указанной ниже последовательности.

1. Расчет оптимальной продолжительности заливки проводится по формуле (1.1).

2. Выбор положения узкого места системы осуществляется так, как указано в п. 1.5.

3. Расчет площади узкого места системы выполняется по формуле (1.4).

4. Расчет параметров ковша проводится по следующей методике. Параметры ковша (H'_1 , H''_1 , ω_0) должны быть определены таким образом, чтобы в процессе заливки формы обеспечивалось равенство расходов сплава из ковша и через литниковую систему при значениях коэффициента торможения струи стопором, не превышающих 1,3.

Напишем уравнения, характеризующие равенство расходов из ковша и через литниковую систему для начала и конца заливки формы:

$$\mu_k \cdot \omega_0 \cdot \frac{\beta'_p}{\beta_T} \cdot \sqrt{2g \cdot H'_1} = \mu \cdot \omega_{yz} \cdot \sqrt{2g \cdot h_n}; \quad (1.15)$$

$$\mu_k \cdot \omega_0 \cdot \frac{\beta''_p}{\beta_T} \cdot \sqrt{2g \cdot H''_1} = \mu \cdot \omega_{yz} \cdot \sqrt{2g \cdot h_k}. \quad (1.16)$$

Из уравнения (1.15) находим начальный уровень сплава в ковше при заливке последней формы $(H'_1)_{\text{посл}}$ при $\beta_T = 1$:

$$(H'_1)_{\text{посл}} = \frac{\mu^2 \cdot \omega_{\text{уз}}^2 \cdot h_{\text{н}}}{\mu_{\text{к}}^2 \cdot \omega_{\text{о}}^2 \cdot \beta_{\text{р}}^2}. \quad (1.17)$$

Конечный уровень сплава в ковше при заливке последней формы равен

$$(H''_1)_{\text{посл}} = (H'_1)_{\text{посл}} - \frac{4G_{\text{ж}}}{\rho \cdot \pi \cdot D_{\text{к}}^2}; \quad (1.18)$$

$$h_{\text{н}} = H'_3 - (5 \div 10) \text{ см}, \quad h_{\text{к}} = H''_3 - (5 \div 10) \text{ см}.$$

При выборе $(H'_1)_{\text{посл}}$ в соответствии с (1.17) обеспечивается равенство расходов из ковша и через литниковую систему в начале заливки последней формы при полностью открытом отверстии стаканчика ($\beta_T = 1$). Для сохранения равенства расходов до конца заливки формы необходимо, чтобы значение $(H''_1)_{\text{посл}}$ удовлетворяло уравнению (1.16), т. е.

$$(H''_1)_{\text{посл}} = \frac{\mu^2 \cdot \omega_{\text{уз}}^2 \cdot h_{\text{к}}}{\mu_{\text{к}}^2 \cdot \omega_{\text{о}}^2 \cdot \beta_{\text{р}}^2}. \quad (1.19)$$

Из балансных соображений данному значению $(H''_1)_{\text{посл}}$ соответствует значение начального уровня сплава в ковше перед заливкой последней формы, найденное из уравнения

$$(H'_1)_{\text{посл}} = (H''_1)_{\text{посл}} - \frac{4G_{\text{ж}}}{\rho \cdot \pi \cdot D_{\text{к}}^2}. \quad (1.20)$$

Второе слагаемое в правой части уравнения (1.20) представляет понижение уровня сплава в ковше при заливке формы. Однако при этом значении $(H'_1)_{\text{посл}}$ не будет выполняться равенство расходов сплава из ковша и через литниковую систему. Из двух значений $(H'_1)_{\text{посл}}$, рассчитанных по формулам (1.17) и (1.20), следует принимать наибольшее. При этом заливщик сможет, применяя незначительное торможение струи, обеспечить ра-

венство расходов в ходе всего процесса заливки последней формы. Если же выбрать наименьшее значение $(H'_1)_{\text{посл}}$, то заливщик не сможет обеспечить заливку последней формы за оптимальное время, так как для этого потребуется коэффициент торможения струи, меньший 1, который принципиально нельзя обеспечить.

По известному значению $(H'_1)_{\text{посл}}$ находим уровень металла в ковше в начале заливки первой формы:

$$(H'_1)_1 = (H'_1)_{\text{посл}} \cdot (\beta_T^2)_1,$$

где $(\beta_T)_1$ – коэффициент торможения струи стопором при заливке первой формы.

С учетом максимального значения $(\beta_T)_1 = 1,3$ получим

$$(H'_1)_1 = (H'_1)_{\text{посл}} \cdot 1,69. \quad (1.21)$$

Аналогично находим

$$(H''_1)_1 = (H''_1)_{\text{посл}} \cdot 1,69.$$

Из балансных соображений для $(H'_1)_{\text{посл}}$ можно написать следующее уравнение:

$$(H'_1)_1 = (H''_1)_1 - \frac{4G_{\text{ж}}}{\rho \cdot \pi \cdot D_{\text{к}}^2}. \quad (1.22)$$

Из двух значений $(H'_1)_1$, полученных по формулам (1.21) и (1.22), выбираем наименьшее, чтобы в начале заливки первой формы не пришлось тормозить струю стопором с коэффициентом торможения $\beta_T > 1,3$.

Далее рассчитываем количество форм, которое можно залить при оптимальных условиях ($\tau_{\text{зал}} = \tau_{\text{опт}}$, $\beta_T \leq 1,3$):

$$N_{\text{ф}} = N + 1,$$

$$\text{где } N = \rho \cdot \pi \cdot D_{\text{к}}^2 = \frac{(H'_1)_1 - (H'_1)_{\text{посл}}}{4G_{\text{ж}}}.$$

5. Расчет площадей остальных элементов литниковой системы проводится по соотношениям, приведенным в п. 1.5.

6. Конструирование литниковой системы и расчет размеров ее элементов рассмотрены в п. 1.9.

1.7. Расчет литниковых систем при подводе сплава на нескольких уровнях при литье из поворотных ковшей

Эти литниковые системы, называемые ступенчатыми, относятся к типу IVA и являются не замкнутыми в стояке (см. п. 1.2). Принципиальная схема системы приведена на рис. 1.9. Ступенчатые системы применяются при подводе сплава к полости формы для протяженных в вертикальном направлении отливок. При этом допустимая высота падения струи сплава $h'_д$ из питателя в полость формы составляет 300–400 мм при заливке углеродистых сталей и 600–800 мм при заливке чугуна. Расстояния между питателями по вертикали не должны быть меньше $h'_{уст}$, чтобы исключить одновременное действие нескольких питателей.

После подъема сплава в полости формы до уровня очередного питателя ее заполнение на высоту $h_п$ осуществляется снизу через нижние питатели. Далее уровень сплава в стояке достигает очередного питателя, и заполнение формы осуществляется снизу через нижние питатели и сверху через очередной питатель при высоте падения струи, равной $h'_{уст}$.

Таким образом, расстояния между питателями должны удовлетворять неравенству $l_п \geq h'_{уст}$. При выполнении расчетов следует принимать

$$l_п = h'_{уст} \text{ и } h'_{уст} = h'_д.$$

Расчет литниковой системы осуществляется в указанной ниже последовательности.

1. *Расчет оптимальной продолжительности заливки* выполняется по формуле (1.1).

2. *Определяется число уровней подвода сплава и расстояния между ними.* Нижний питатель располагают на высоте от низа отливки, не превышающей значение $h'_д$. Остальные питатели располагают по высоте отливки на расстояниях $l_п = h'_д$. Общее число питателей определяется при их компоновке с учетом рекомендаций, изложенных в п. 1.4.

3. *Расчет площади узкого места системы* проводится по формуле (1.4).

Расчетный напор при применении литниковых воронок равен:

- $H_p = H_b$, если площадь струи, падающей из ковша, меньше 0,2 от площади зеркала сплава в воронке;

- $H_p = 1,3H_v$, если указанное условие не выполняется (учитывается 30 %-е увеличение напора за счет кинетической энергии струи);

- $H_p = H_{\text{ч}}$ при заливке с использованием литниковой чаши.

Коэффициент расхода в сечении AB (см. рис. 1.9), которое в данном случае является узким местом системы, ориентировочно можно принять равным $\mu_{AB} = 0,8$.

4. *Расчет площади нижнего питателя* (ω_1) производится таким образом, чтобы установившееся значение высоты столба сплава в стояке относительно уровня питателя $h'_{\text{уст}}$ было равно допустимому значению высоты падения сплава h'_d .

При высоте сплава в стояке относительно нижнего питателя, равной $h'_{\text{уст}} = h'_d$, расход сплава из чаши или воронки равен расходу через питатель, т. е.

$$\mu_{AB} \cdot \omega_{AB} \cdot \sqrt{2g \cdot H_p} = \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{2g \cdot h'_d}.$$

Отсюда находим

$$\omega_1 = \frac{\mu_{AB} \cdot \omega_{AB} \cdot \sqrt{H_p}}{\mu_1 \cdot \sqrt{h'_d}},$$

где μ_1 – коэффициент расхода в сечении нижнего питателя.

Точные значения μ_1 в литературе не указаны. При ориентировочных расчетах можно принять $\mu_1 = 0,5$.

5. *Расчет площадей остальных питателей* производится следующим образом. После подъема сплава в полости формы выше уровня более высокого питателя расплав подается в форму не только через этот питатель, но и через все нижележащие. Для обеспечения направленного затвердевания отливки и заполняемости формы целесообразно основную часть сплава подавать в форму через верхний питатель. Поэтому площадь каждого последующего питателя увеличивается в 1,3 раза по сравнению с площадью нижележащего [4], т. е. $\omega_2 = 1,3\omega_1$, $\omega_3 = 1,3\omega_2$ и т. д.

6. *Конструирование и расчет размеров элементов литниковой системы* выполняется в соответствии с рекомендациями, изложенными в п. 1.9.

1.8. Расчет вертикально-щелевых литниковых систем

На рис. 1.17 приведена конструкция вертикально-щелевой литниковой системы, которая применяется для заполнения алюминиевыми и магниевыми сплавами форм для протяженных в вертикальном направлении отливок. Она включает в себя чашу или воронку 1, стояк 2, коллектор 3, зумпф 4, обратный стояк 5 и вертикальную щель 6, через которую сплав подводится к полости формы.

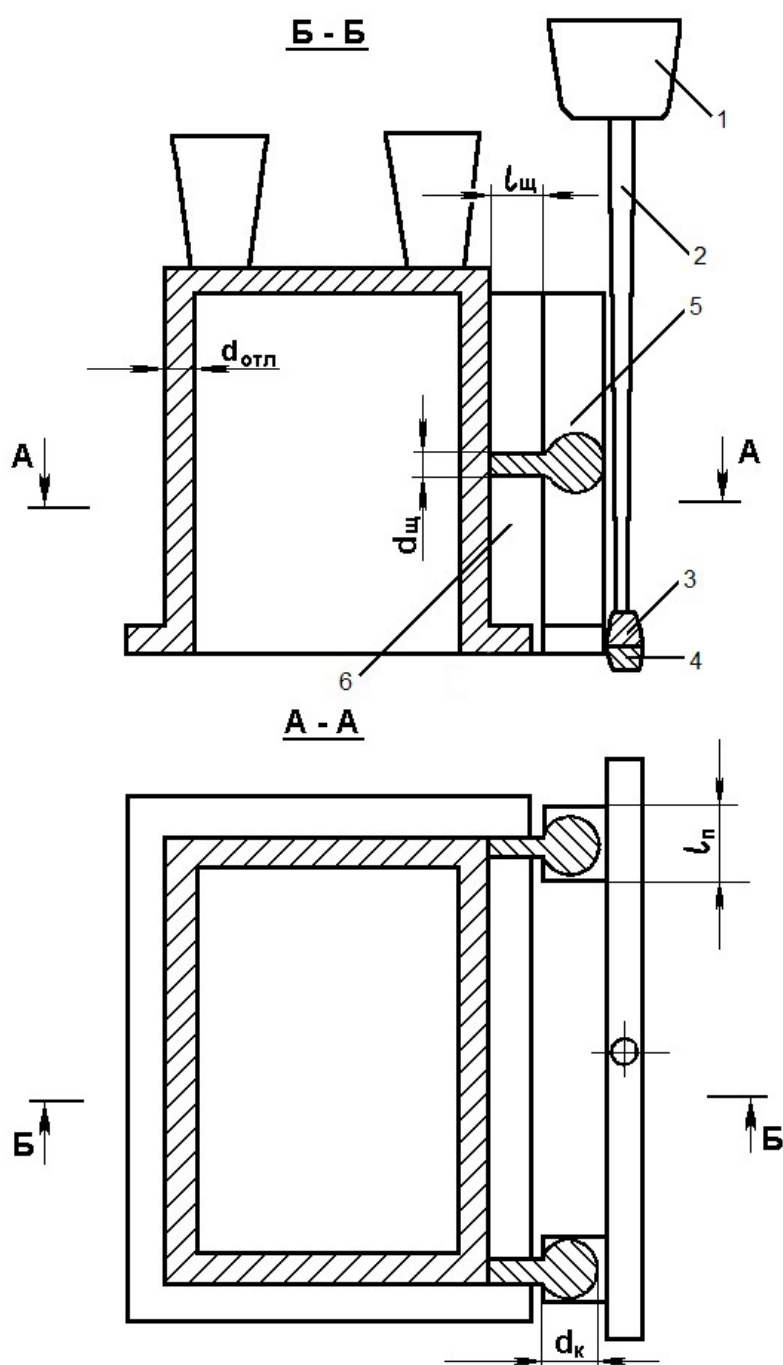


Рис. 1.17. Конструкция вертикально-щелевой литниковой системы

Расчет вертикально-щелевой литниковой системы проводится в указанной ниже последовательности.

1. Определение оптимальной продолжительности заливки производится по формуле (1.1).

2. В качестве узкого места литниковой системы принимают нижнее сечение стояка. Площадь узкого места рассчитывают по формуле (1.4).

3. Определение площадей коллектора и питателей осуществляют по соотношениям, приведенным выше (см. п. 1.5).

4. Суммарная толщина щелей определяется следующим образом:

$$\sum \delta_{\text{щ}} = (0,08 \div 0,012) \cdot P_{\text{ф}},$$

где $P_{\text{ф}}$ – полный периметр сечения формы, содержащий наружные и внутренние контуры формы, попадающие в сечение на уровне питателей.

Толщину одной щели определяют по формуле

$$\delta_{\text{щ}} \leq (0,7 \div 1,0) \cdot \delta_{\text{отл}},$$

где $\delta_{\text{отл}}$ – преобладающая толщина стенки отливки в месте ее соединения с вертикальной щелью.

Число щелей находят по формуле $n = \sum \delta_{\text{щ}} / \delta_{\text{щ}}$. В зависимости от толщины щели определяют диаметр обратного стояка $d_{\text{к}} \geq 4\delta_{\text{щ}}$ и ширину щели (расстояние от отливки до обратного стояка) $l_{\text{щ}} = d_{\text{к}}$. Ширина питателя $l_{\text{п}} \geq d_{\text{к}}$. Целесообразно толщину щели увеличивать кверху в 1,5 раза [4].

1.9. Конструирование литниковых систем

1.9.1. Конструирование литниковых чаш и воронок

Литниковые чаши и воронки служат для приема жидкого сплава, поступающего из ковша. Конструкция и размеры приемного элемента литниковой системы зависят от массовой скорости заливки и конструкции разливочного ковша. При малых массовых скоростях заливки (до 5 кг/с) применяют воронки, а при больших скоростях (больше 5 кг/с) используют литниковые чаши. Однако применение ковшей, позволяющих получить

струю сплава с овальным или круглым сечением, дает возможность повысить границу применения воронок до массовой скорости заливки 6–7 кг/с.

Приемный элемент литниковой системы (чаша или воронка) должен гасить кинетическую энергию падающей из ковша струи и обеспечивать плавное (без завихрений и образования воронок) поступление сплава в стояк. Кроме того, при заливке из поворотных ковшей очень важной операцией является задержание шлака.

Форма внутренней поверхности воронки должна охватывать контур падающей струи. На рис. 1.18 приведен вид литниковой воронки, разработанной Б. В. Рабиновичем [11].

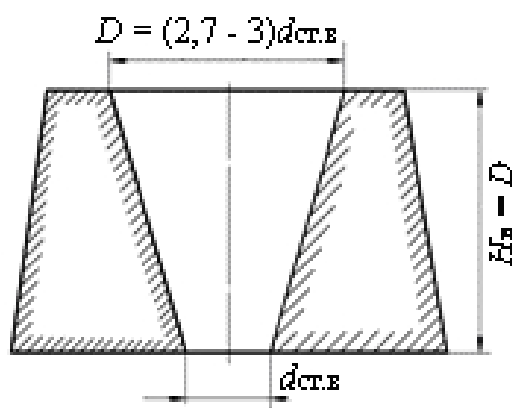


Рис. 1.18. Литниковая воронка

Определение размеров воронки осуществляется в зависимости от значения диаметра стояка вверху ($d_{ст.в}$).

Малые литниковые чаши (массовый расход сплава при заливке – до 10 кг/с) выполняются в двух модификациях: в виде чаш, заформованных в опоке (рис. 1.19), и чаш-нарощало, устанавливаемых сверху на опоке. Наличие порога и двух боковых вертикальных ребер способствует всплыванию шлака и образованию вихревых воронок.

Крупные чаши (массовый расход сплава при заливке составляет от 10 до 50 кг/с) выполняются с перегородкой (рис. 1.20). Перегородка разделяет чашу на приемную и расходную секции. Заливку сплава из ковша следует производить в приемную секцию, из которой он под перегородкой поступает в расходную секцию и в стояк.

Размеры литниковых чаш определяются по диаметру стояка вверху (см. рис. 1.19, 1.20 и табл. 1.14) [11].

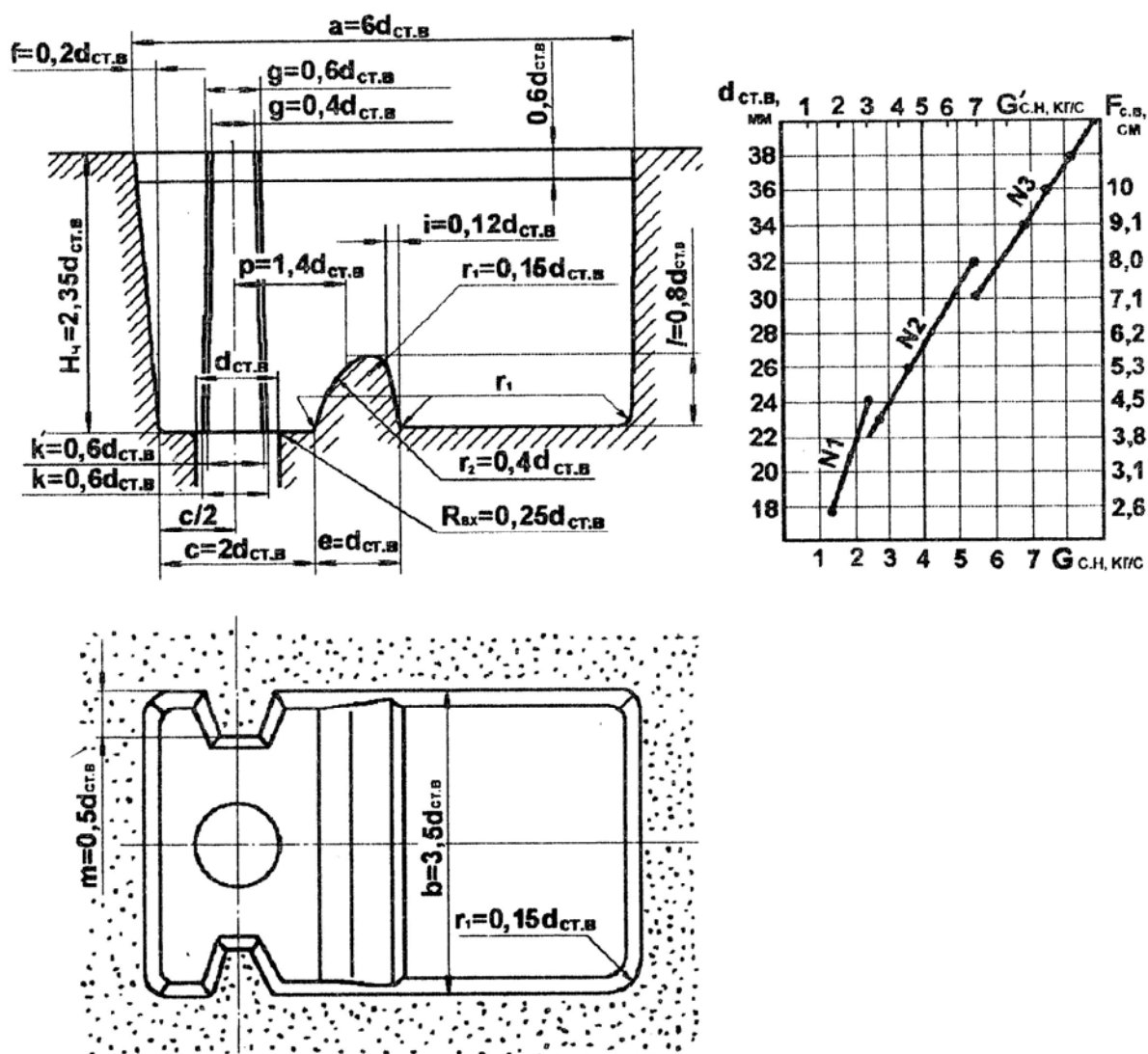


Рис. 1.19. Малая литниковая чаша

Таблица 1.14

Параметры малой литниковой чаши

Номер чаши	$d_{CT.B}$, мм	a , мм	b , мм	c , мм	e , мм	f , мм	g , мм	g' , мм	$H_{ч}$, мм	i , мм
1	24	144	84	48	24	5	15	10	80	3
2	32	192	112	65	32	6	19	13	105	4
3	40	240	140	80	40	8	24	16	130	5

Окончание табл. 1.14

Номер чаши	P , мм	k , мм	k' , мм	l , мм	m , мм	$R_{вх}$, мм	r_1 , мм	R_2 , мм	$G_{ч}$, кг
1	34	20	16	19	12	6	4	10	4,5
2	45	26	19	26	16	8	5	12	8,0
3	56	32	24	32	20	10	6	16	21,5

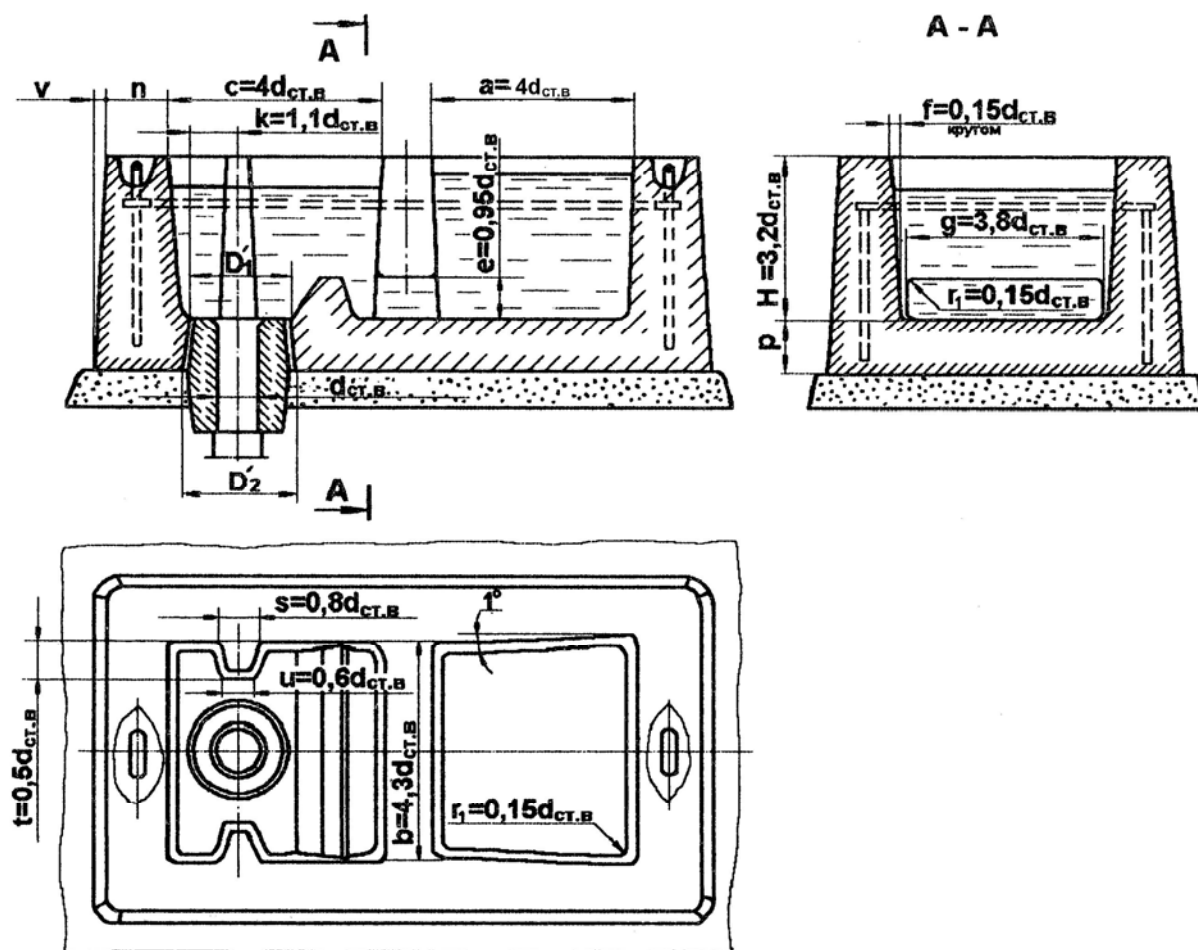


Рис. 1.20. Большая литниковая чаша

1.9.2. Конструкции стояков

Чаще всего стояки размещают вертикально. Для обеспечения замкнутости системы и удобства формовки используют конические, расширяющиеся вверх круглые стояки. Конусность стояка зависит от его высоты (табл. 1.15).

Таблица 1.15

Конусность стояков, мм

Высота стояка	$d_{CT.B} - d_{CT.H}$	Высота стояка	$d_{CT.B} - d_{CT.H}$
100	2	900	9
200	3	1000	10
300	4	1200	12
400	4	1400	14
500	5	1600	16
600	6	1800	18
700	7	2000	20
800	8		

При литье легких сплавов применяют, кроме круглых вертикальных стояков, ленточные прямоугольные, змееобразные, наклонные прямые и наклонные типа «гусиной шейки» стояки (рис. 1.21). Зигзагообразные стояки позволяют уменьшить скорость поступления сплава в форму и обеспечить плавное ее заполнение. Конструкция таких стояков показана на рис. 1.22. Здесь $h_3 = (0,75 \div 0,80) \cdot h_c$; $B = 45 \text{ мм}$; $l = 80 \text{ мм}$; $r_k = 20 \text{ мм}$; $\alpha = 15 \div 30^\circ$.

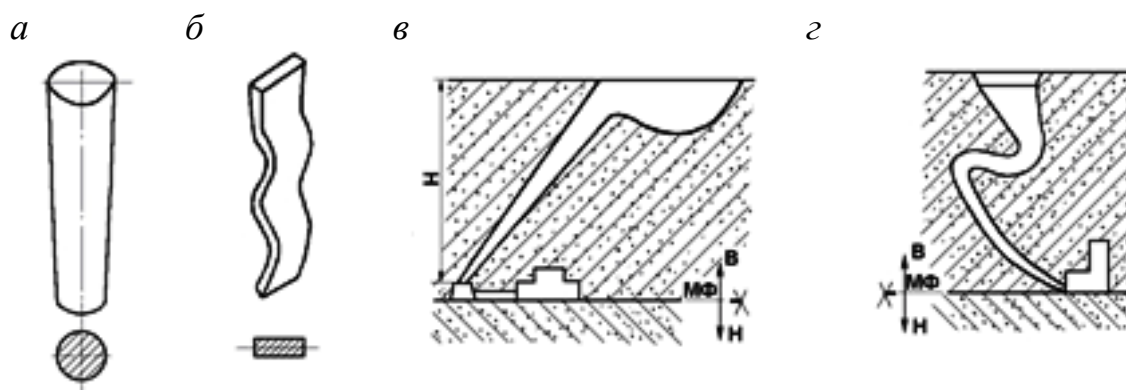


Рис. 1.21. Профили стояков для литья легких сплавов:

а – круглый стояк; *б* – плоский «гусиная шейка»; *в* – наклонный; *г* – змеевидный

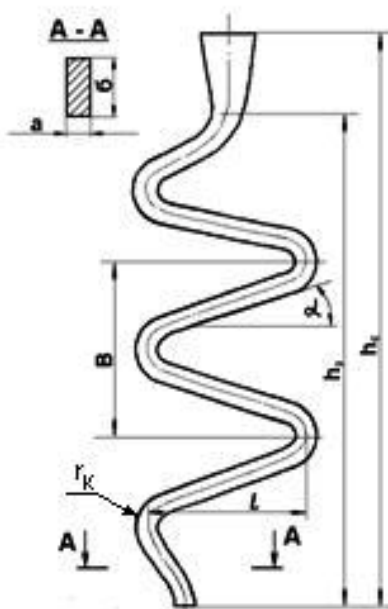


Рис. 1.22. Конструкция зигзагообразного стояка:

h_3 – высота змееобразной части стояка; B – шаг витка канала; l – расстояние между осями по ширине; r_k – радиус кривизны оси канала

В нижней части стояка выполняется полусферическое окончание, называемое *зумпфом*.

1.9.3. Конструкции шлакоуловителей и коллекторов

На практике чаще всего применяют шлакоуловители и коллекторы трапецеидального поперечного сечения, постоянного по длине канала. Форма поперечного сечения приведена на рис. 1.23.

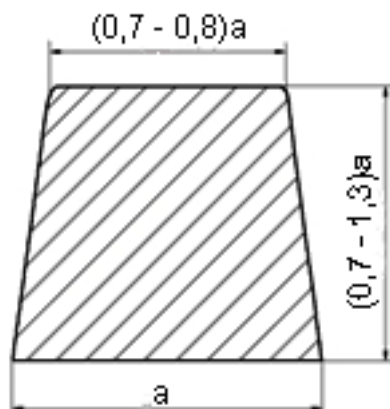


Рис. 1.23. Форма сечения шлакоуловителя

В замкнутых системах одной из важнейших функций шлакоуловителя является шлакоулавливание. При движении сплава по шлакоуловителю взвешенная частица шлака всплывает вверх. Для обеспечения шлакоулавливания необходимо, чтобы эта частица всплыла к верхней поверхности шлакоуловителя, не доходя с потоком сплава до первого питателя. Исходя из этого для определения длины шлакоуловителя до первого питателя l_{Π} можно применить следующую формулу:

$$l_{\Pi} = 1,2h_{\text{шл}} \cdot \frac{V_{\text{шл}}}{V_{\text{в}}},$$

где $h_{\text{шл}}$ – высота сечения шлакоуловителя;
 $V_{\text{шл}}$ – скорость сплава в шлакоуловителе;
 $V_{\text{в}}$ – скорость всплывания частицы.

$$V_{\text{в}} = \sqrt[2]{\frac{d_{\text{ш}}}{3} \cdot \frac{\rho_{\text{м}} - \rho_{\text{ш}}}{\rho_{\text{м}}} \cdot g},$$

где $d_{\text{ш}}$ – диаметр частицы (можно принять $d_{\text{ш}} = 0,002$ м);
 $\rho_{\text{м}}$ и $\rho_{\text{ш}}$ – плотность жидкого сплава и неметаллической частицы.

Скорость сплава в шлакоуловителе можно рассчитать по формуле

$$V_{\text{ш}} = \frac{G_{\text{ж}}}{\tau_{\text{опт}} \cdot \rho_{\text{м}} \cdot \omega_{\text{шл}}}.$$

Для улучшения улавливания шлака в системе предусматривают установку специальных полостей – *бобышек*, обеспечивающих принудительное заполнение шлакоуловителя, при котором сплав не может пройти в форму, не заполнив предварительно поперечное сечение шлакоуловителя. На рис. 1.24 и 1.25 приведены примеры таких литниковых систем.

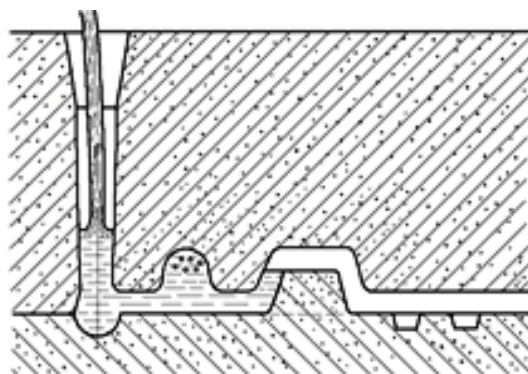
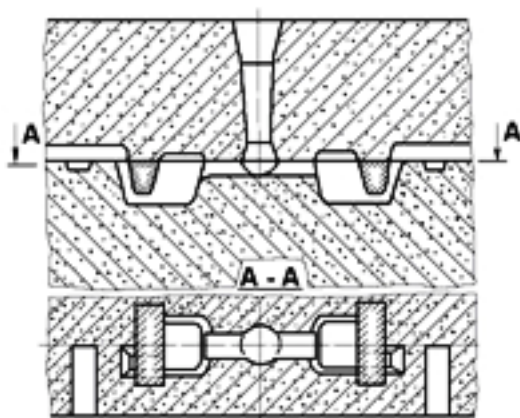


Рис. 1.24. Литниковая система с принудительным заполнением шлакоуловителя

а



б

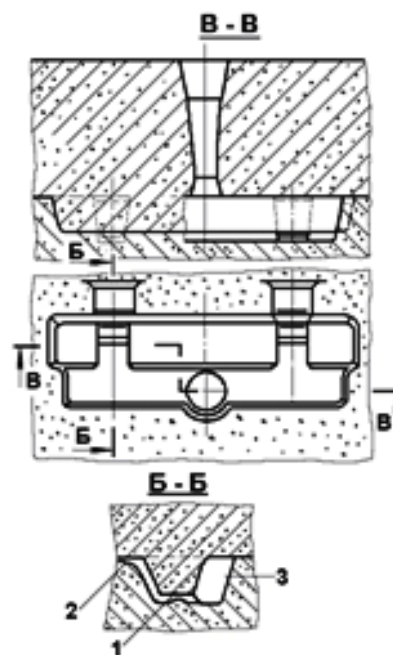


Рис. 1.25. Конструкции литниковых систем с принудительным заполнением шлакоуловителя:

а, б – типы дроссельных литниковых систем; 1 – дроссель; 2 – питатель; 3 – шлакоуловитель

Эффективным способом улавливания шлака является применение *центробежных шлакоуловителей* (рис. 1.26), в которых металл подается по касательной в периферийную часть круглой бобышки. Металл из бобышки отводится также по касательной, причем площадь сечения отводящего канала меньше, чем подводящего. Пример литниковой системы с центробежным шлакоуловителем приведен на рис. 1.27.

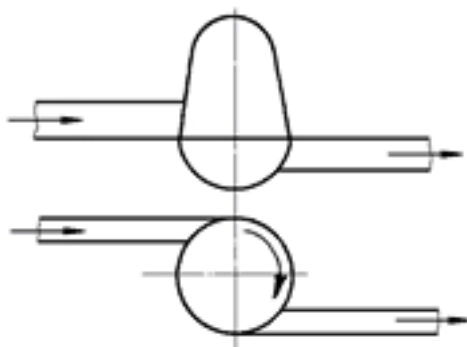


Рис. 1.26. Схема центробежного шлакоуловителя

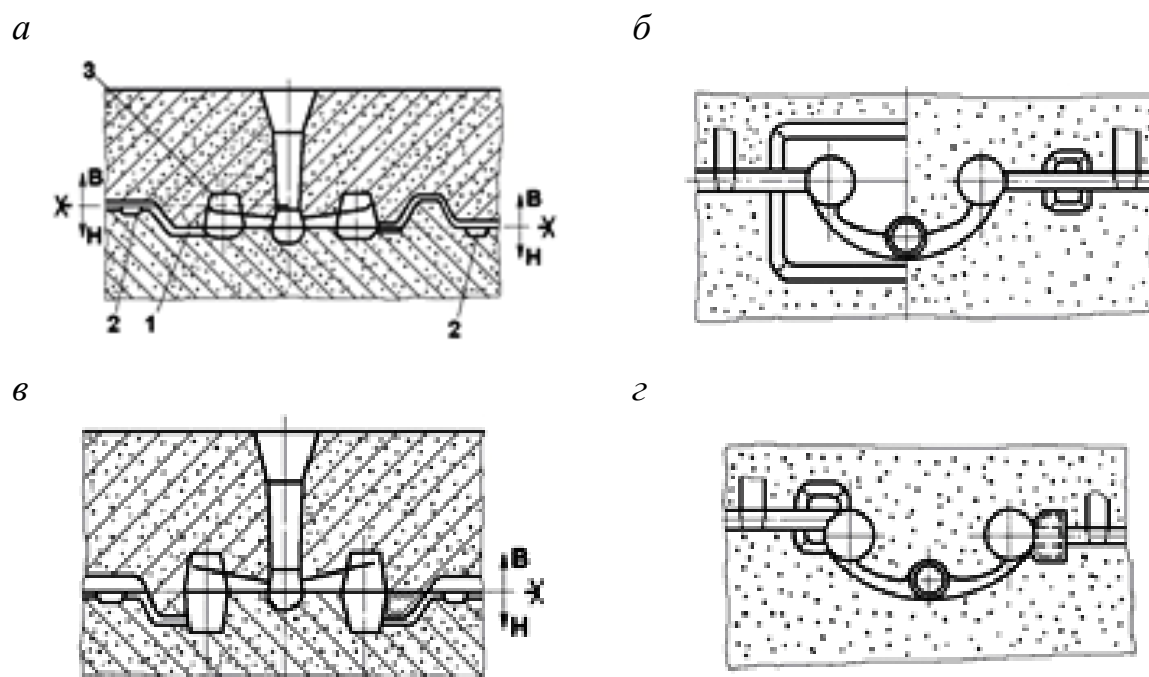


Рис. 1.27. Конструкции литниковых систем с принудительным заполнением центробежного шлакоуловителя:

а – г – типы дроссельных литниковых систем;
1 – дроссель; *2* – питатели; *3* – шлакоуловитель

1.9.4. Конструкции питателей

Чаще всего питатели выполняют трапециевидального поперечного сечения и подводят их снизу шлакоуловителя. Сечение питателя по его длине, как правило, делают одинаковым. Для того чтобы литники (питатели) отламывались возможно ближе к телу отливки, следует увеличить сечение питателя на 5–10 % по сравнению с расчетным, а затем довести его до расчетного путем уменьшения высоты в месте подвода к отливке.

Основные размеры трапециевидальных питателей приведены в табл. 1.16.

Таблица 1.16

Основные размеры трапециевидальных питателей

Тип питателя	B	h
Плоский	$(0,7 - 0,9) \cdot a$	$(0,1 - 0,5) \cdot a$
Нормальный	$(0,8 - 0,7) \cdot a$	a
Удлиненный	$(0,75 - 0,65) \cdot a$	$(1,5 - 2,0) \cdot a$

Чаще всего питатели подводят к шлакоуловителю под прямым углом, а иногда под тупым углом. Питатели целесообразно размещать в нижней полуформе под шлакоуловителем (рис. 1.28, *а*). Если же необходимо питатель и шлакоуловитель разместить в одной верхней полуформе, то отношение высоты шлакоуловителя $h_{ш}$ к высоте питателя $h_{п}$ с точки зрения исключения попадания в него шлака не должно быть меньше 5, т. е. $h_{ш} / h_{п} \geq 5$ (рис. 1.28, *б*).

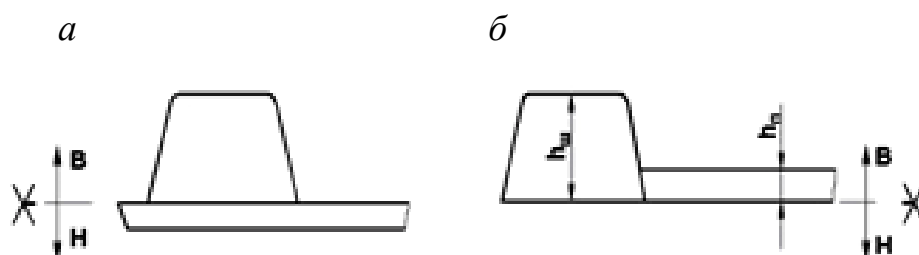


Рис. 1.28. Схемы размещения шлакоуловителя и питателя в форме:

а – литниковая система с питателем в нижней полуформе; *б* – литниковая система с питателем в верхней полуформе

1.9.5. Применение фильтровальных сеток

Для улавливания шлаковых и других неметаллических включений в литниковых системах часто применяют фильтровальные сетки. На практике используют керамические и металлические сетки, а также сетки из специальной ткани.

Керамические сетки представляют собой плоский стержень с отверстиями, выполненный из стержневой смеси. При изготовлении отливок массой до 40 кг толщина керамической сетки обычно составляет 10–14 мм, диаметр отверстий вверху – от 4 до 10 мм, чаще 5–8 мм. Диаметр отверстия внизу на 1 мм меньше, чем вверху. Суммарная площадь отверстий сетки должна быть на 15 % меньше площади предшествующего элемента и на 15 % больше площади последующего. Для эффективной работы сетки необходимо, чтобы металлоприемник под ней был заполнен сплавом. При этом частицы шлака, пройдя через отверстия сетки, прилипнут к ее нижней поверхности [4].

Фильтровальные сетки устанавливают в разных местах литниковой системы: в нижней части литниковой воронки, в нижнем сечении стояка, в шлакоуловителе и т. д. Примеры установки фильтровальных сеток в литниковой системе приведены на рис. 1.29 и 1.30.

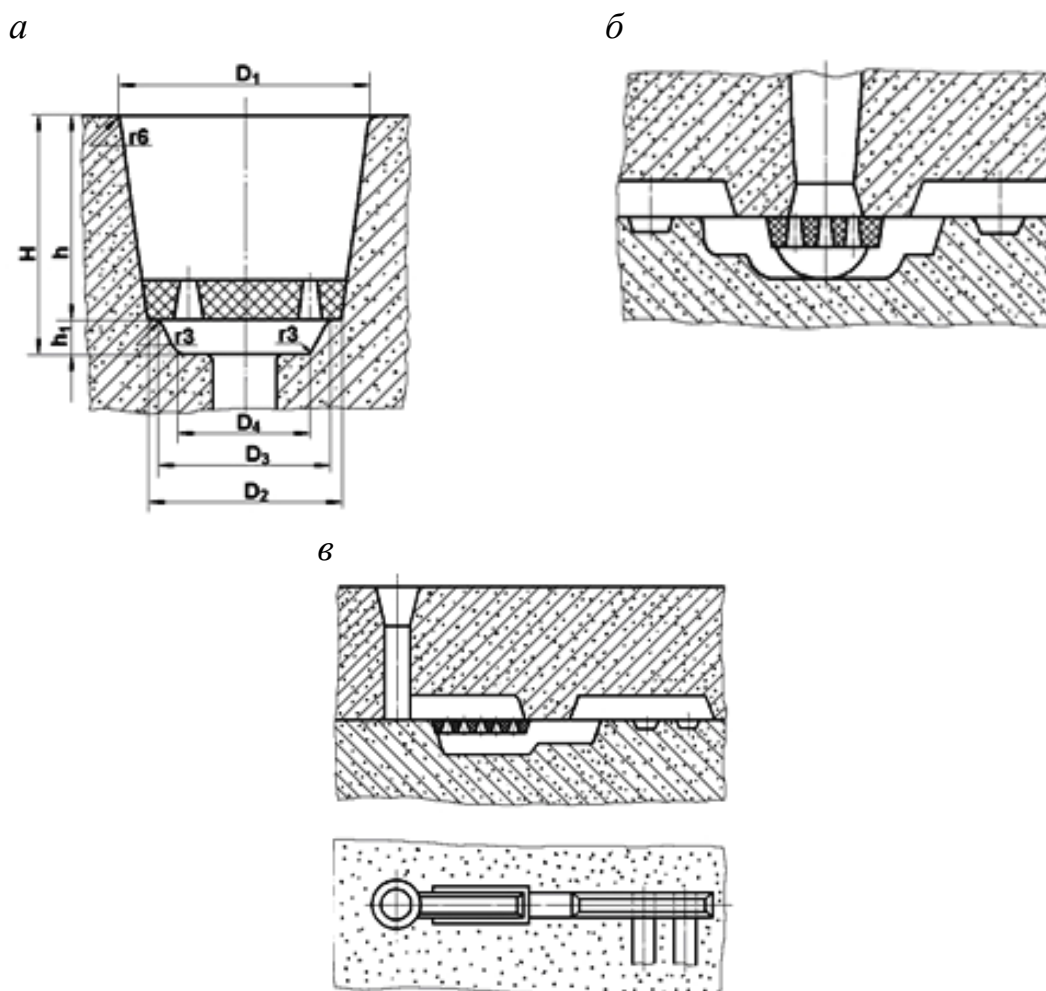


Рис. 1.29. Примеры установки фильтровальных сеток в литниковых системах для чугунных отливок:

а – литниковая воронка; *б* – фильтровальная сетка у основания стояка;
в – фильтровальная сетка в шлакоуловителе

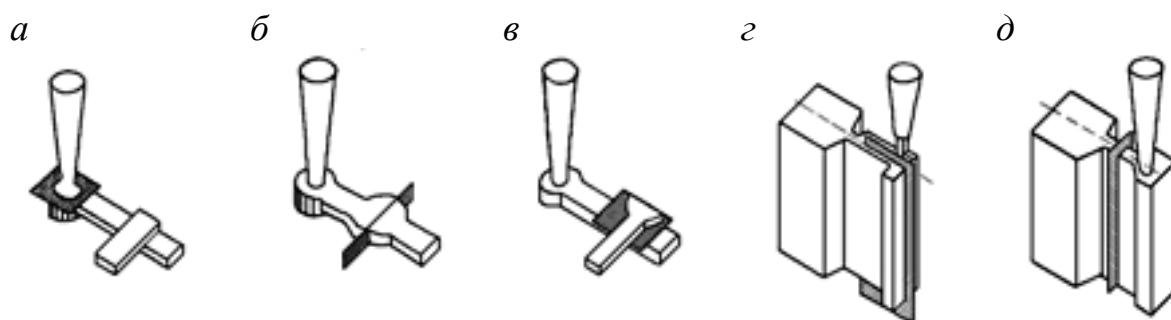


Рис. 1.30. Схемы установки фильтровальных сеток в литниковых системах для отливок из легких сплавов:

а – под стояком; *б* – в расширенной части коллектора; *в* – под питателем;
г – в колодце и вертикальной щели; *д* – в вертикальной щели

Для легких сплавов применяются сетки из тонкого листового железа или из специальной ткани толщиной 0,3–0,5 мм с отверстиями диаметром 0,5–2 мм.

1.9.6. Особенности конструкции литниковых систем для отливок из ковкого чугуна

При изготовлении отливок из ковкого чугуна формы заливают белым чугуном, который отличается большой объемной усадкой, низкой жидкотекучестью и плохой обрабатываемостью резанием.

Для предотвращения образования усадочных дефектов и обеспечения легкого удаления прибылей до термообработки отливок их питание осуществляют закрытыми боковыми прибылями, соединенными с питаемой частью отливки коротким каналом – шейкой. Металл подводится непосредственно в прибыль из шлакоуловителя или через питатель. Примеры литниковых систем для отливок из ковкого чугуна приведены на рис. 1.31 и 1.32.

Для питания других, не связанных с литниковой системой тепловых узлов отливки также применяют боковые прибыли.

Узкое место литниковой системы, показанной на рис. 1.32, находится в канале, подводящем металл к прибыли. Размеры боковых прибылей можно определить на основании опытных данных Б. В. Рабиновича [11].

На рис. 1.33 и 1.34 приведены номограммы для определения размеров боковых прибылей и сечений шейки боковых прибылей.

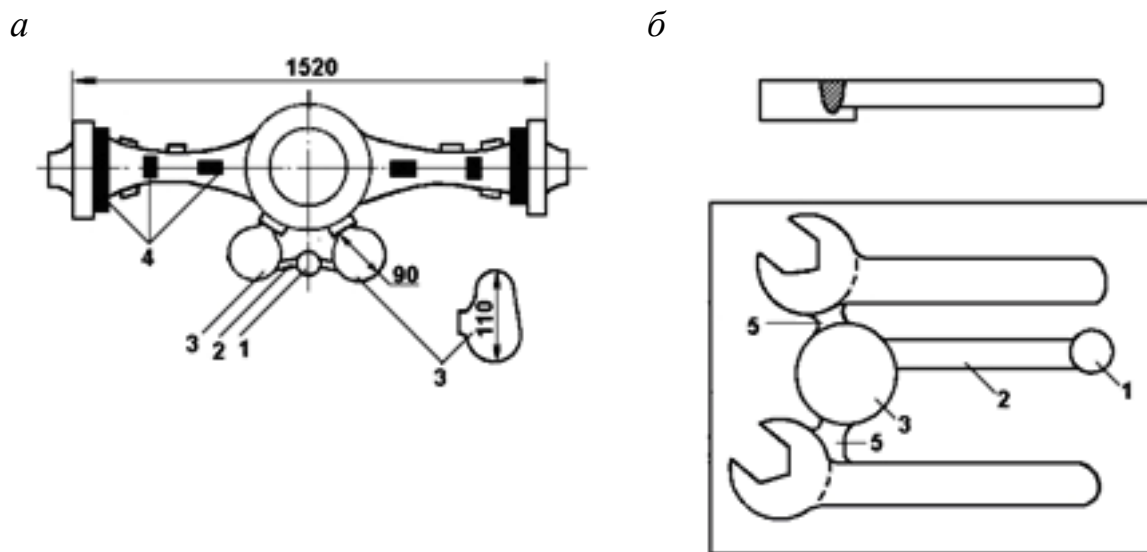


Рис. 1.31. Подвод металла к отливкам заднего моста автомобиля (а) и гаечных ключей (б):

1 – стояк; 2 – шлакоуловитель; 3 – боковые прибыли; 4 – холодильники;
5 – шейки прибылей

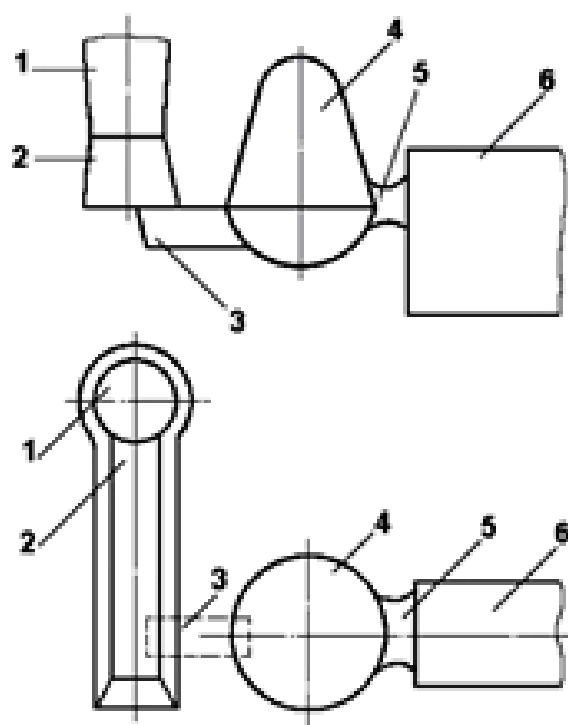


Рис. 1.32. Схема полной литниковой системы для отливок из ковкого чугуна:

1 – стояк; 2 – шлакоуловитель; 3 – питатель; 4 – боковая прибыль;
5 – шейка прибыли; 6 – отливка

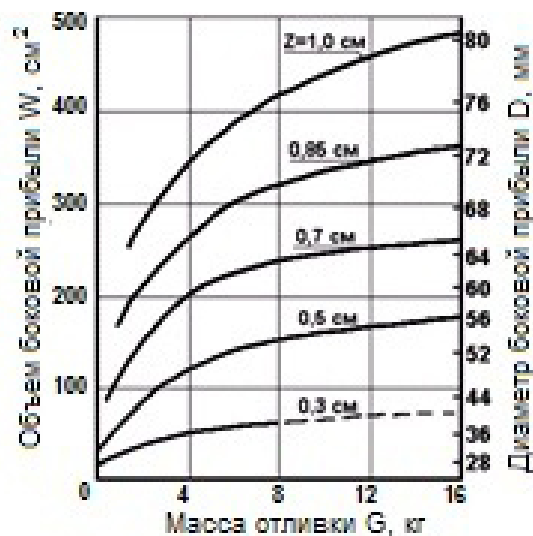


Рис. 1.33. Номограмма для определения размеров боковых прибылей

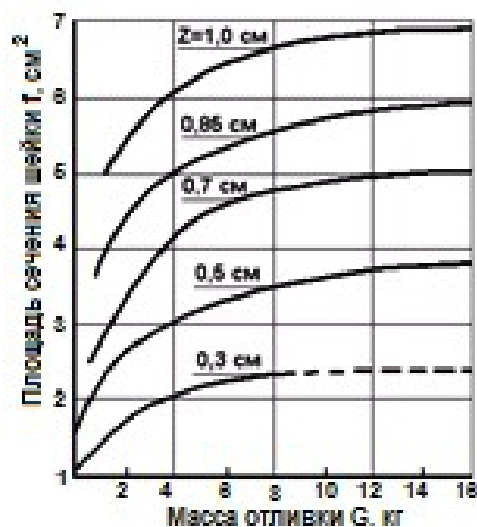


Рис. 1.34. Номограмма для определения сечения шейки боковых прибылей

Параметр Z на номограммах представляет собой отношение объема питаемого узла в см^3 к его поверхности в см^2 .

1.9.7. Особенности конструкций ступенчатых литниковых систем

Как показало исследование работы ступенчатых систем, последовательность действия питателей лучше обеспечивается при цилиндрических

или конических стояках с небольшим уклоном. Наилучшие результаты достигаются в системах с обратным стояком (рис. 1.35).

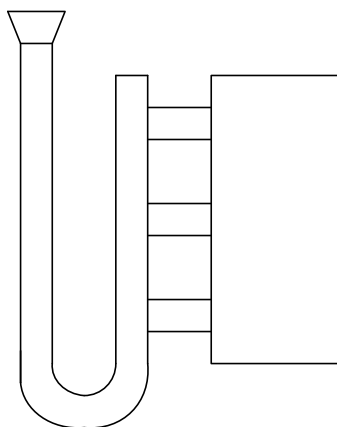


Рис. 1.35. Ступенчатая литниковая система с обратным стояком

Недостатком систем, приведенных на рис. 1.9 и 1.35, является отсутствие шлакоуловителя. Поэтому при литье из поворотных ковшей можно применить систему, конструкция которой показана на рис. 1.36.

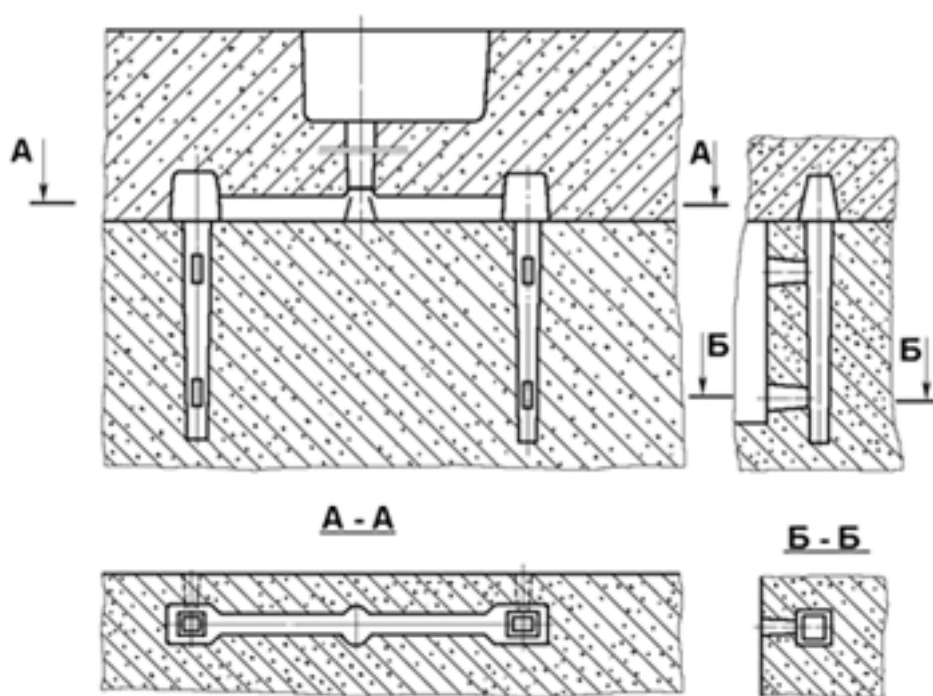


Рис. 1.36. Ступенчатая литниковая система со шлакоуловителем

При заливке сплавов через рассмотренные выше ступенчатые системы в верхней части стояка создается разрежение, что приводит к подсосу

воздуха и разбрызгиванию сплава. Воздух может засасываться в стояк через верхние незаполненные питатели. При этом брызги металла через них могут попадать в форму. Из-за большой скорости течения эффективность работы шлакоуловителя невелика. Чтобы устранить эти недостатки, необходимо снизить скорость течения сплава и уменьшить циркуляцию сплава в бобышке под стояком. Для этого в систему вводят фильтровальную сетку 3 и стержень 4 под бобышку 2 (рис. 1.37). Кроме того, в шлакоуловителе предусматривают порог 7 и сужение (дроссель) с помощью перегородки 1. Узкое место такой системы можно выполнить либо в дресселе, либо в отверстии в стержне.

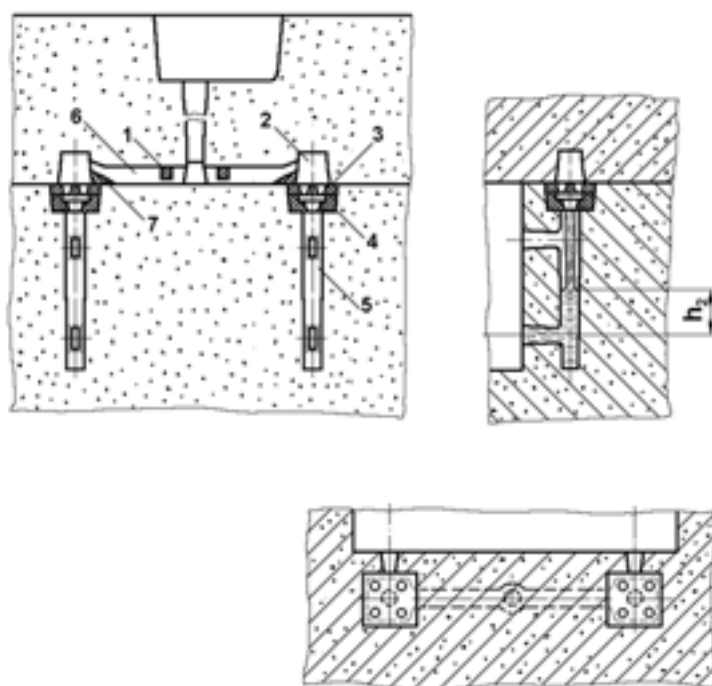


Рис. 1.37. Ступенчатая литниковая система:

1 – дрессель; 2 – шлакоулавливающая бобышка; 3 – сетка; 4 – стержень;
5 – распределительный стояк; 6 – шлакоуловитель; 7 – порог

Б. В. Рабинович рекомендует следующие соотношения площадей:

$$F_{\text{ст.н}} : F_{\text{др}} : S \cdot F_{\text{шл}} : F_{\text{сет}} : F_{\text{отв.ст}} = 1,75 : 1 : 3,62 : 1,7 : 1,36;$$

$$F_{\text{ст.н}} : F_{\text{др}} : S \cdot F_{\text{шл}} : F_{\text{сет}} : F_{\text{отв.ст}} = 1,3 : 1 : 2,65 : 1,24 : 0,74.$$

1.9.8. Особенности литниковых систем для отливок из цветных сплавов

Ввиду большой склонности к вспениванию и окислению алюминиевых, магниевых и ряда медных сплавов скорость течения расплава в полости формы должна обеспечивать не только хорошую ее заполняемость, но и минимально возможную для отливки степень турбулентности потока, которая должна снижаться в направлении от стояка к полости формы. Значения скоростей потока в стояке (v_c), коллекторе (v_k) и питателе (v_n) должны удовлетворять неравенствам

$$v_c \leq \frac{65}{R_c}, \quad v_k \leq \frac{42}{R_k}, \quad v_n \leq \frac{12}{R_n},$$

где R_c , R_k и R_n – гидравлические радиусы стояка, коллектора и питателя, равные отношению соответствующих значений площади сечения к его периметру [16, 18].

Расчет литниковых систем для отливок из цветных сплавов можно выполнять по приведенной выше методике расчета при литье из поворотных ковшей. Выбор размеров элементов системы по расчетным значениям площадей следует осуществлять исходя из приведенных выше неравенств для скоростей.

Для отливок из алюминиевых и магниевых сплавов разработаны специальные методы расчета литниковых систем [18].

1.10. Специальные конструкции литниковых систем

Важнейшей проблемой, возникающей при применении типовых литниковых систем, является одновременное удовлетворение следующим требованиям:

- надежное улавливание шлака;
- снижение скорости движения сплава в литниках, обеспечивающее плавное заполнение формы сплавом.

Используются различные специальные конструкции литниковых систем, направленные на решение этой проблемы.

1.10.1. Тормозящая литниковая система В. И. Фундатора

Схемы тормозящих литниковых систем, предложенных В. И. Фундатором, приведены на рис. 1.38. Благодаря поворотам потока при перетекании сплава из колена в колено увеличивается суммарное сопротивление системы и уменьшается скорость движения сплава. При этом улучшается шлакоулавливание и создаются условия для более плавного поступления сплава в полость формы.

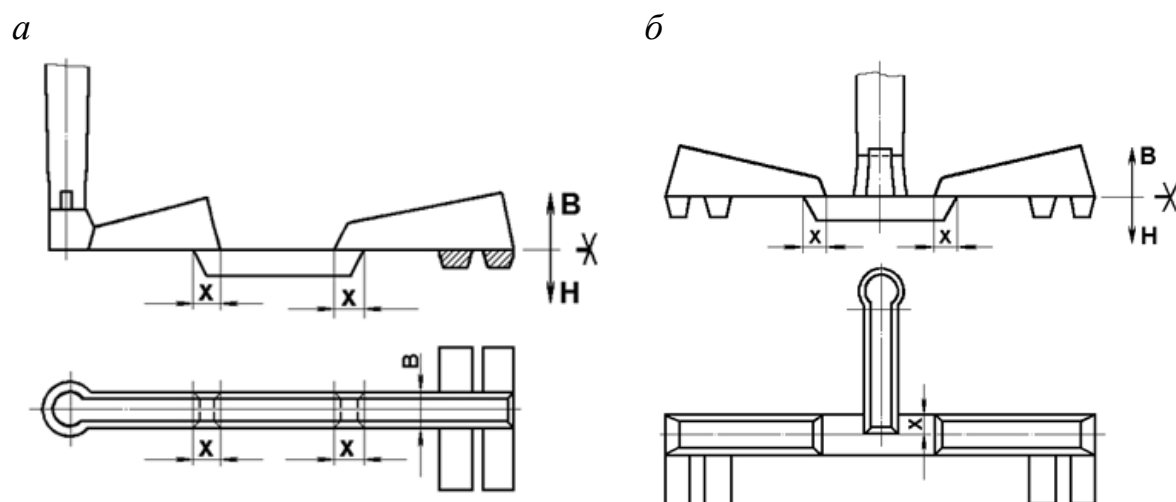


Рис. 1.38. Схемы тормозящих литниковых систем:

а – с тремя коленами; б – с двумя коленами (х – окно между элементами)

Число колен в системе может быть значительным (до пяти и более), что делает ее громоздкой и увеличивает расход металла на литники. Другим недостатком тормозящих систем является сложность их конструкций. Эти системы можно рекомендовать при изготовлении чугунных отливок ответственного назначения в сырых формах при недостаточной поверхностной прочности формовочных материалов.

1.10.2. Дроссельные литниковые системы

Дроссельные литниковые системы предложены Б. В. Рабиновичем [11]. В них реализуется та же идея, что и в тормозящих системах. Принципиальное отличие состоит в том, что для уменьшения скорости сплава в систему включаются местные сопротивления, занимающие мало места и имеющие небольшую массу.

В основании стояка устанавливается местное сопротивление путем резкого сужения (дросселирования) потока. Элементы, реализующие это

местное сопротивление, называются *дресселями*. При одностороннем шлакоуловителе применяют односторонний дрессель, при двухстороннем шлакоуловителе – двухсторонний дрессель. Схемы дрессельных систем приведены на рис. 1.39 и 1.40. Размеры дресселей указаны в табл. 1.17 и 1.18.

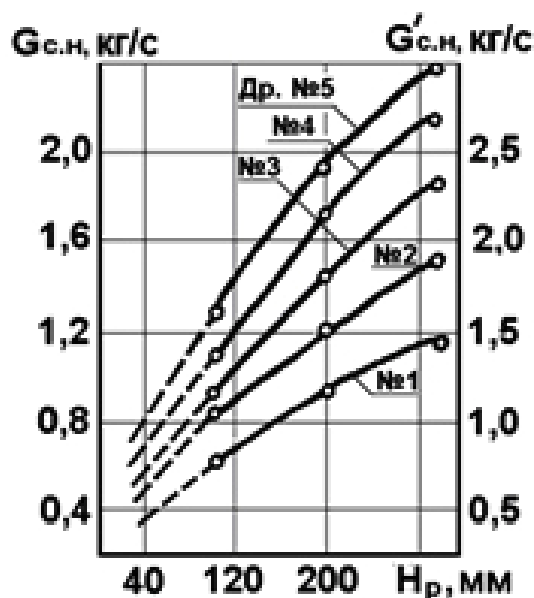
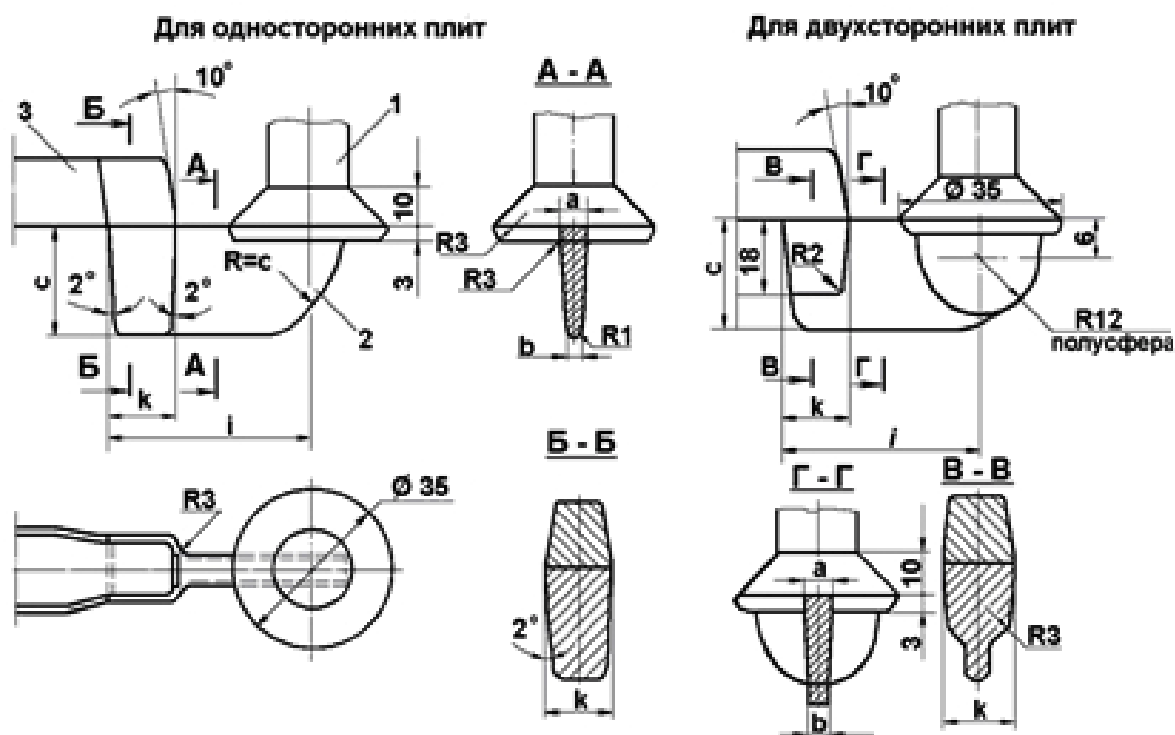


Рис. 1.39. Литниковая система с односторонним дресселем:

1 – стояк; 2 – дрессель; 3 – шлакоуловитель

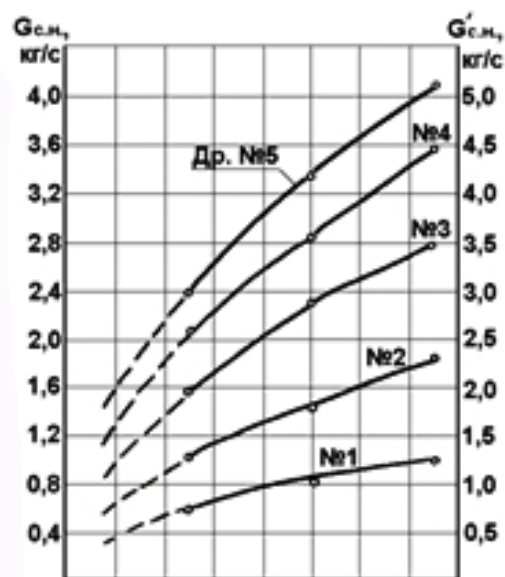
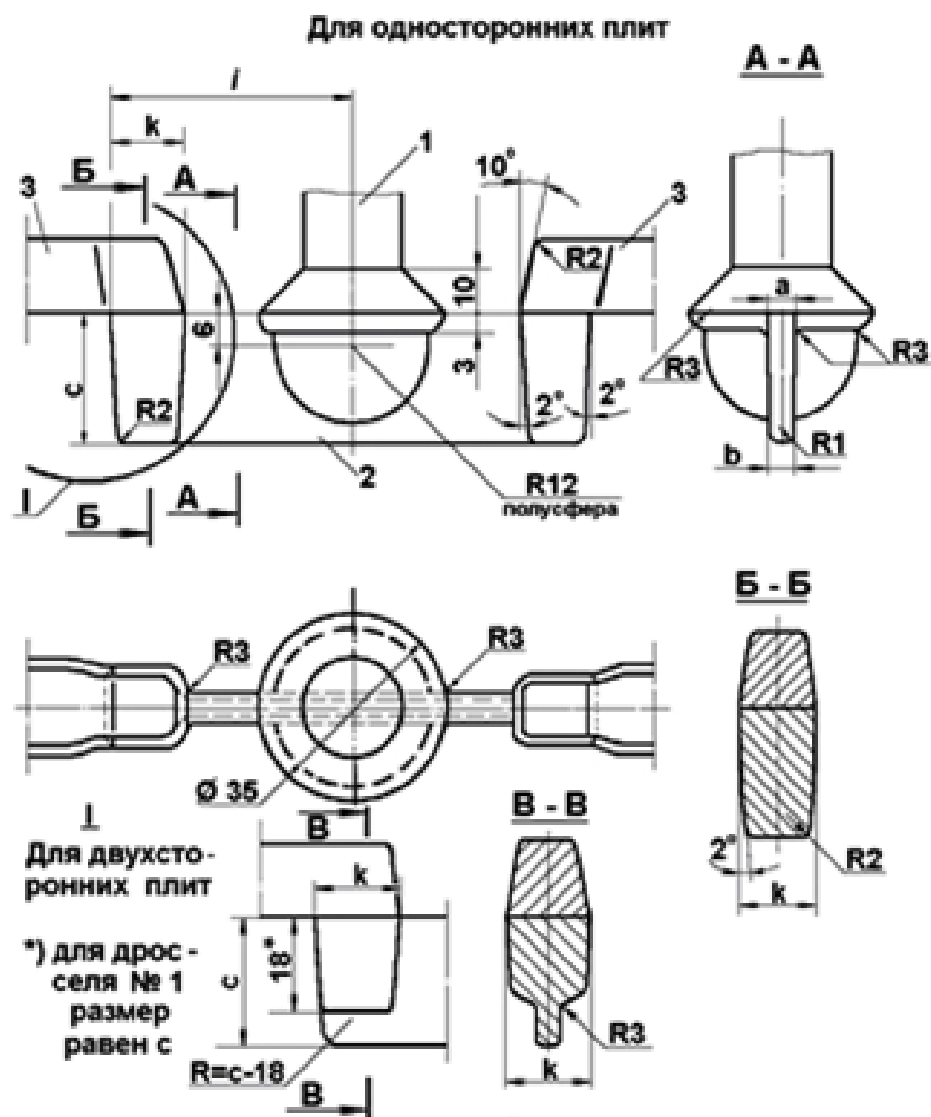


Рис. 1.40. Литниковая система с двухсторонним дресселем:

1 – стояк; 2 – дрессель; 3 – шлакоуловитель

Дроссели представляют собой узкие щели толщиной 4–25 мм. Сплав из стояка проходит через дроссель и поступает в шлакоуловитель, из которого через питатель, расположенный снизу шлакоуловителя, переходит в полость формы.

Таблица 1.17

Размеры односторонних дросселей

Номер дросселя	$F_{др}, \text{см}^2$	$a^{-0,2}, \text{мм}$	$b^{-0,2}, \text{мм}$	$c^{-0,2}, \text{мм}$	$i, \text{мм}$	$k, \text{мм}$
1	1,0	4,5	3,6	24,6	45	15
2	1,5	5,5	4,5	30,0	45	15
3	1,5	7,0	6,2	22,8	48	18
4	2,0	7,0	6,0	30,8	48	18
5	2,5	9,0	8,0	29,4	53	23

Таблица 1.18

Размеры двухсторонних дросселей

Номер дросселя	$F_{др}, \text{см}^2$	$a^{-0,2}, \text{мм}$	$b^{-0,2}, \text{мм}$	$c^{-0,2}, \text{мм}$	$i, \text{мм}$	$k, \text{мм}$
1	1,0	4,5	4,1	11,6	45	15
2	2,0	4,5	3,6	24,6	45	15
3	3,0	5,5	4,5	30,0	45	15
4	4,0	7,0	6,0	30,8	48	18
5	5,0	9,0	8,0	29,4	50	18

Расчет дроссельных литниковых систем осуществляется по номограммам [11], пример которых приведен на рис. 1.39 и 1.40. Эти системы можно рекомендовать для производства небольших чугунных отливок ответственного назначения при машинном изготовлении литейных форм.

1.10.3. Дождевые литниковые системы

Дождевая литниковая система представляет собой специальный вид верхней литниковой системы, при которой подвод сплава осуществляется сверху. Схема дождевой литниковой системы приведена на рис. 1.41. Система состоит из кольцевого канала 3 с вертикальными «карандашными» отверстиями 4, выполненного в стержне, который установлен в верхней части формы. Для отвода газов предусмотрены щелевые каналы 6.

Дождевая система является разновидностью систем I класса. Узким местом системы служат нижние сечения конических вертикальных отверстий, а действующий напор равен высоте уровня сплава над низом стержня.

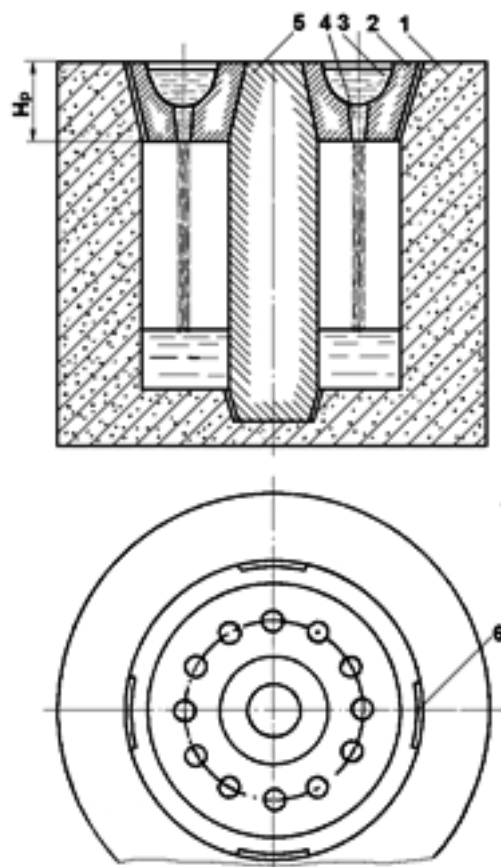


Рис. 1.41. Схема дождевой литниковой системы:

1 – форма; *2* – стержень с дождевой литниковой системой; *3* – кольцевой канал;
4 – вертикальные отверстия; *5* – стержень; *6* – щелевой канал

Дождевые системы широко применяются при изготовлении высоких чугунных отливок типа втулок, барабанов, цилиндров, труб и т. п. Они отличаются простотой, обеспечивают спокойное и качественное заполнение форм высотой даже более 1000 мм.

1.10.4. Другие разновидности специальных конструкций литниковых систем

При подводе снизу, когда нельзя подвести сплав сбоку, применяют рожковый литник (рис. 1.42, *а*). Для исключения характерной для этой системы фонтанообразной струи в начале заливки формы применяют зумпф внизу стояка (рис. 1.42, *б*) или шлакоуловитель (1.42, *в*).

Для тонкостенных отливок (сковороды, ванны, баки, котлы и т. п.) применяют клиновые литники и щелевидные питатели (рис. 1.43).

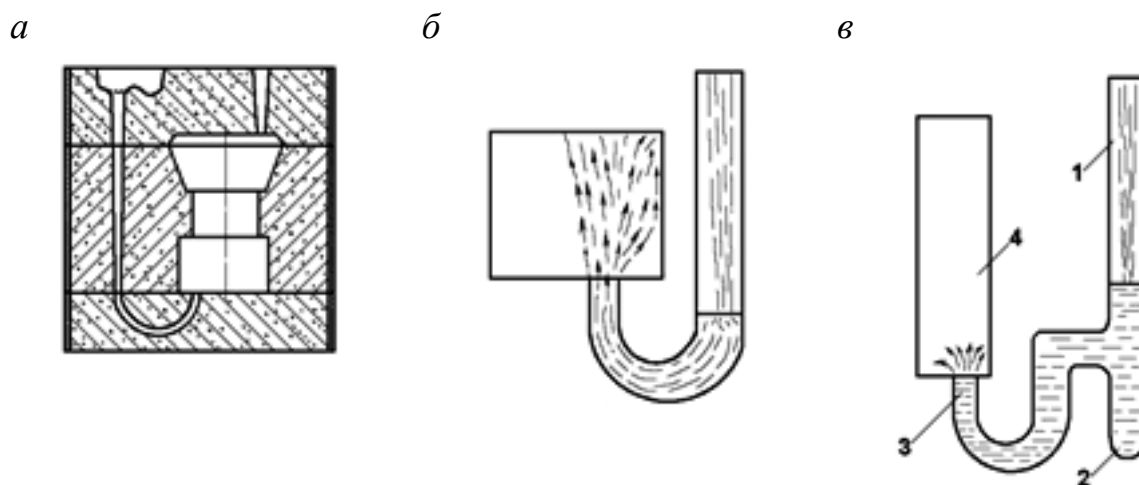


Рис. 1.42. Методы подвода сплава с помощью рожкового литника:

1 – стояк; 2 – зумпф; 3 – рожковый литник; 4 – полость формы

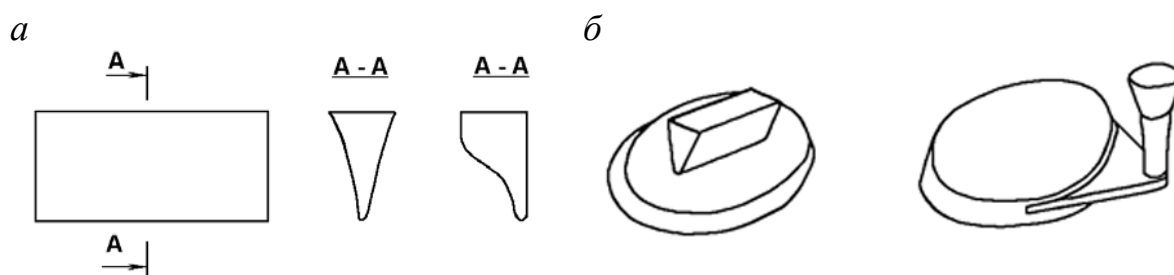


Рис. 1.43. Литниковые системы для тонкостенных отливок:

a – клиновые литники; *б* – щелевые питатели

1.11. Примеры расчета литниковых систем

Пример 1

Рассчитать литниковую систему для стальной отливки «Ведущее колесо» массой 114,1 кг. Масса прибыли 25,2 кг; преобладающая толщина стенок 22 мм; количество отливок в форме – 1 шт. Первоначальный напор $H_0 = 24$ см; высота верхней точки над уровнем питателя $P = 18,6$ см; высота отливки $C = 28,6$ см. Заливка производится из поворотного ковша углеродистой сталью следующего химического состава: 0,34–0,40 % C; 0,25–0,50 % Si; 0,6–0,9 % Mn; не более 0,06 % P; не более 0,04 % S. Температура заливки 1530 °C.

Приняв массу литников равной 6 % от массы отливки с прибылью, получим $(114,1 + 25,2) \cdot 0,06 = 8,4$ кг. Масса жидкого металла, заливаемого в форму, будет равна $114,1 + 25,2 + 8,4 = 147,7$ кг.

Оптимальное время заливки составляет

$$\tau_{\text{опт}} = 1,4 \cdot \sqrt[3]{22 \cdot 147,7} = 20,7 \text{ с.}$$

Средняя скорость подъема уровня металла в форме равна $V_{\text{ср}} = 286 / 20,7 = 13,8$ мм/с. Такая скорость для отливок с толщиной стенки более 10 мм вполне допустима.

Найдем H_p :

$$H_p = H_0 - \frac{P^2}{2C} = 24 - \frac{18,6^2}{2 \cdot 28,6} = 17,95 \text{ см.}$$

Определим суммарную площадь питателей (узкое место):

$$\omega_{\text{пит}} = \frac{147,7}{0,47 \cdot 20,7 \cdot 0,31 \cdot \sqrt{17,95}} = 11,5 \text{ см}^2.$$

Плотность стали принята равной 7 г/см³.

Зададимся соотношением площадей элементов литниковой системы $\omega_{\text{ст}} : \omega_{\text{шл}} : \omega_{\text{пит}} = 1,4 : 1,2 : 1$. Тогда $\omega_{\text{шл}} = 11,5 \cdot 1,2 = 13,8 \text{ см}^2$, $\omega_{\text{ст}} = 11,5 \cdot 1,4 = 16,1 \text{ см}^2$, отсюда диаметр стояка внизу равен 45 мм.

Пример 2

Рассчитать литниковую систему для стальной отливки «Горцевая крышка» массой 13400 кг. Масса прибылей 4000 кг; преобладающая толщина стенок 80 мм. Заливка формы намечается из стопорного ковша емкостью 30 т со средним диаметром $D_k = 1,75$ м. Напоры в ковше: $H'_1 = 190$ см; $H_2 = 25$ см; $H'_3 = 248$ см; $H''_3 = 50$ см. Отливка заливается из углеродистой стали 35Л, температура заливки 1520 °С. Из одного ковша заливается одна форма, заливка осуществляется без торможения струи. Высота отливки 1980 мм.

Принимаем массу литников приближенно равной 3 % от массы отливки с прибылями, т. е. 522 кг. Масса жидкого металла, заливаемого в форму, равна 17922 кг.

Найдем оптимальную продолжительность заливки:

$$\tau_{\text{опт}} = 1,3 \cdot \sqrt[3]{80 \cdot 17922} = 146 \text{ с.}$$

Средняя скорость подъема уровня металла $V_{\text{ср}} = 1980 / 146 = 13,6 \text{ мм/с}$, что для данной отливки вполне допустимо.

$$3,141,75^2 \cdot (1,9 - H_1'') / 4 = 17,922 / 6,9; H_1'' = 0,82 \text{ м.}$$

$$\sqrt{H_{\text{ср}}} = \frac{\sqrt{1,9} + \sqrt{0,82}}{2} = 1,145 \text{ м}^{1/2}; H_{\text{ср}} = 1,311 \text{ м.}$$

Принимаем $\beta_p = 1,06$, тогда

$$\frac{17922}{146} = 0,8\omega_0 \cdot 1,06 \cdot 6,9 \cdot \sqrt{2 \cdot 98,1 \cdot 13,11}; \omega_0 = 0,414 \text{ дм}^2 = 41,4 \text{ см}^2.$$

Принимаем два стопорных отверстия диаметром 50 мм, фактическая площадь которых составляет $\omega_0 = 39,2 \text{ см}^2$.

Рассчитаем площади сечений питателей для начального и конечного периодов заливки формы:

$$\omega_{\text{пит}} = \frac{39,2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{190}}{0,6 \cdot \sqrt{238}} = 46,7 \text{ см}^2;$$

$$\omega_{\text{пит}} = \frac{39,2 \cdot 0,8 \cdot 1,12 \cdot \sqrt{82}}{0,6 \cdot \sqrt{40}} = 84,1 \text{ см}^2.$$

Для конца заливки формы значение коэффициента размыва стаканчика принято $\beta_p = 1,12$; $h_k = H_3'' - 10 = 40 \text{ см}$; $h_n = H_3' - 10 = 238 \text{ см}$. Из двух значений выбираем большее, т. е. $84,1 \text{ см}^2$. Площади сечений стояка и литникового хода определяем с учетом соотношений $\bar{\omega}_{\text{пит}} : \bar{\omega}_{\text{л.х}} : \bar{\omega}_{\text{ст}} = 1 : 1,15 : 1,3$.

$$\omega_{\text{шл}} = 84,1 \cdot 1,15 = 96,7 \text{ см}^2; \omega_{\text{ст}} = 84,1 \cdot 1,3 = 109,3 \text{ см}^2.$$

Пример 3

Рассчитать общую площадь сечения питателей для стальной отливки с преобладающей толщиной стенки 16 мм. Масса жидкой стали, заливаемой в форму, равна 1000 кг. Металл подводится по разъему формы на половину высоты отливки; $H_3' = 550 \text{ мм}$; $H_3'' = 380 \text{ мм}$; $C = 340 \text{ мм}$; $P = 170 \text{ мм}$. Диаметр ковша $D_k = 180 \text{ см}$. Диаметр стаканчика $d_{\text{ст}} = 40 \text{ мм}$.

Расчет для заливки без торможения струи

Найдем оптимальную продолжительность заливки:

$$\tau_{\text{опт}} = 1,5 \cdot \sqrt[3]{16 \cdot 1000} = 37,8 \text{ с.}$$

Тогда $V_{\text{ср}} = 340 / 37,8 = 9 \text{ мм/с}$. Такая скорость вполне допустима для данной отливки.

Примем, что S_1 может изменяться от 1,4 до 1,6, тогда $\tau_{\text{мин}} = 35,2 \text{ с}$; $\tau_{\text{макс}} = 40,2 \text{ с}$.

$$\frac{1000}{35,2} = \frac{0,8 \cdot 3,14 \cdot 0,4^2 \cdot 7 \cdot \sqrt{2 \cdot 98,1 \cdot (H_{\text{ср}})_1}}{4}, (H_{\text{ср}})_1 = 130,3 \text{ см.}$$

$$\frac{1000}{40,2} = \frac{0,8 \cdot 3,14 \cdot 0,4^2 \cdot \sqrt{2 \cdot 98,1 \cdot (H_{\text{ср}})_{\text{посл}}}}{4}, (H_{\text{ср}})_{\text{посл}} = 88,5 \text{ см.}$$

Понижение уровня стали в ковше при заполнении одной формы равно

$$\Delta H_{\text{к}} = \frac{4G}{\pi \cdot D^2 \cdot \rho} = \frac{4 \cdot 1000}{3,14 \cdot 18^2 \cdot 7} = 5,6 \text{ см.}$$

Количество заливаемых форм составляет $N = (130,3 - 88,5) / 5,6 + 1 = 8$.

Определим начальный и конечный напоры H'_1 и H''_1 при заливке первой формы. Запишем уравнения (1.8) и (1.10):

$$\sqrt{130,3} \cdot 2 = \sqrt{(H'_1)_1} + \sqrt{(H''_1)_1};$$

$$(H'_1)_1 - (H''_1)_1 = 5,6.$$

Решив эту систему уравнений, находим $(H'_1)_1 = 132,8 \text{ см}$; $(H''_1)_1 = 127,2 \text{ см}$.

Выполним расчет площади сечения питателей для начального и конечного моментов заливки первой формы:

$$\omega_{\text{пит}} = \frac{3,14 \cdot 4^2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{132,8}}{4 \cdot 0,47 \cdot \sqrt{50}} = 34,5 \text{ см}^2;$$

$$\omega_{\text{пит}} = \frac{3,14 \cdot 4^2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{127,2}}{4 \cdot 0,47 \cdot \sqrt{33}} = 42,0 \text{ см}^2.$$

Из двух значений выбираем большее, т. е. $\omega_{\text{пит}} = 42,0 \text{ см}^2$, тогда

$$\omega_{\text{шл}} = 42 \cdot 1,15 = 48,3 \text{ см}^2; \omega_{\text{ст.н}} = 42 \cdot 1,3 = 54,6 \text{ см}^2.$$

Расчет для заливки с торможением струи

$$\omega_{\text{пит}} = \frac{1000}{0,47 \cdot 37,8 \cdot 0,31 \cdot \sqrt{45,8}} = 26,8 \text{ см}^2.$$

$$\omega_{\text{шл}} = 26,8 \cdot 1,15 = 30,8 \text{ см}^2; \omega_{\text{ст.н}} = 26,8 \cdot 1,3 = 34,8 \text{ см}^2.$$

$$H_p = 50 - 17^2 / (2 \cdot 34) = 45,8 \text{ см}.$$

По формулам (1.17), (1.19) и (1.20) рассчитываем начальный и конечный уровни сплава в ковше при заливке последней формы:

$$(H'_1)_{\text{посл}} = 50 \cdot (0,47 \cdot 26,8 / (0,8 \cdot 1 \cdot 12,6))^2 = 78,6 \text{ см};$$

$$(H''_1)_{\text{посл}} = 33 \cdot (0,47 \cdot 26,8 / (0,8 \cdot 1 \cdot 12,6))^2 = 51,9 \text{ см};$$

$$(H'_1)_{\text{посл}} = 51,9 + 5,6 = 57,5 \text{ см}.$$

Из двух значений $(H'_1)_{\text{посл}}$ выбираем большее; $(H'_1)_{\text{посл}} = 78,6 \text{ см}$.

Уровни сплава при заливке первой формы определяем по уравнениям

$$(H'_1)_1 = 1,69 \cdot (H'_1)_{\text{посл}} = 78,6 \cdot 1,69 = 132,8 \text{ см};$$

$$(H''_1)_{\text{посл}} = 1,69 \cdot (H''_1)_{\text{посл}} = 1,69 \cdot 51,9 = 87,7 \text{ см};$$

$$(H'_1)_1 = 87,7 + 5,6 = 93,3 \text{ см}.$$

Из двух значений $(H'_1)_1$ выбираем меньшее, т. е. 93,3 см. В этом случае количество заливаемых форм будет равно

$$N = (93,3 - 57,5) / 5,6 + 1 = 7.$$

Пример 4

Рассчитать литниковую систему для отливки «Корпус». Исходные данные: сплав – сталь 35Л; черновая масса отливки $G_0 = 6,8 \text{ кг}$; преобладающая толщина стенки отливки $\delta = 17 \text{ мм}$; количество отливок в форме – 4 шт.; высота отливки с прибылями $C = 17 \text{ см}$; расстояние от плоскости

подвода сплава до верхнего уровня полости формы $P = 11$ см; $H_0 = 20$ см; масса прибылей на одну отливку – 4,5 кг.

Рассчитаем массу залитого в форму сплава, приходящуюся на одну отливку: $G = (4 \cdot 6,8 + 4 \cdot 4,5 + 0,07 \cdot 6,8) / 4 = 11,5$ кг.

Оптимальную продолжительность заливки найдем по формуле (1.1):

$$\tau_{\text{опт}} = 1,4 \cdot \sqrt[3]{11,5 \cdot 17} = 8,1 \text{ с.}$$

По формуле (1.4) рассчитаем площадь питателя для одной отливки:

$$\omega_{\text{пит}} = \frac{11500}{7,2 \cdot 0,42 \cdot 8,1 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot H_p}},$$

где $H_p = 20 - 121 / 34 = 16,4$ см.

$$\omega_{\text{пит}} = 2,61 \text{ см}^2.$$

Площадь литникового хода $\omega_{\text{л.х}} = 1,15 \cdot 2 \cdot \omega_{\text{пит}} = 6 \text{ см}^2$ (каждая ветвь литникового хода обслуживает две отливки).

$$\text{Площадь стояка } \omega_c = 1,3 \cdot 4 \cdot 2,61 = 13,6 \text{ см}^2.$$

$$\text{Диаметр стояка внизу } D_{\text{ст}} = \sqrt{4 \cdot 13,5 / 3,14} = 4,2 \text{ см.}$$

Контрольные вопросы и задания

1. Из каких элементов состоит типичная литниковая система?
2. Сформулируйте требования, предъявляемые к литниковой системе.
3. Что такое узкое место системы?
4. Какой элемент играет роль узкого места при литье чугуна, стали, легких и тяжелых цветных сплавов?
5. Напишите и проанализируйте формулу для расчета площади узкого места литниковой системы при литье из поворотного ковша.
6. Что такое коэффициент расхода литниковой системы?
7. Что такое оптимальная продолжительность заливки?
8. Как рассчитать оптимальную продолжительность заливки формы?
9. Напишите и проанализируйте формулу Дитерта для определения расчетного напора.
10. Дайте характеристику систем класса I.
11. Дайте характеристику систем класса II.
12. Дайте характеристику систем класса III.

13. Дайте характеристику систем класса IV.
14. Сформулируйте принципы выбора уровня подвода сплава к полости формы.
15. Сформулируйте принципы выбора места подвода сплава к отливке.
16. В чем преимущества и недостатки поворотных ковшей?
17. В чем преимущества и недостатки стопорных ковшей?
18. Опишите последовательность расчета литниковых систем при литье из поворотных ковшей.
19. Поясните методику расчета параметров ковша при стопорной заливке без торможения струи.
20. В чем сущность расчета площади узкого места системы при стопорной заливке без торможения струи?
21. Опишите последовательность расчета литниковой системы при литье из стопорных ковшей с торможением струи.
22. Что такое коэффициент торможения струи? В каких пределах он изменяется?
23. Поясните методику расчета параметров ковша при стопорной заливке с торможением струи.
24. Опишите последовательность расчета литниковой системы при литье из стопорных ковшей с торможением струи.
25. Сформулируйте сущность расчета ступенчатых литниковых систем.
26. Опишите конструкции ступенчатых литниковых систем.
27. В чем состоят особенности литниковых систем для отливок из ковкого чугуна?
28. Охарактеризуйте конструкции чаш и воронок, стояков, шлакоуловителей, питателей.
29. Дайте характеристику следующих специальных конструкций литниковых систем: тормозящих, дроссельных, дождевых систем. В чем их достоинства и недостатки? Назовите области их применения.
30. Для отливок, приведенных на рис. 1.44–1.47 (их размеры даны в табл. 1.19), выполните расчет литниковых систем при условиях, указанных в табл. 1.20.

Массу отливки следует определить, вычислив по чертежу ее объем и умножив его на плотность. Температуру заливки принять нормальной, форму – песчаной при наличии выпоров и открытых прибылей. Соппротивление формы среднее.

На рис. 1.44–1.47 конструкции систем показаны условно, поэтому необходимо выполнить полное конструирование системы и определение размеров ее элементов.

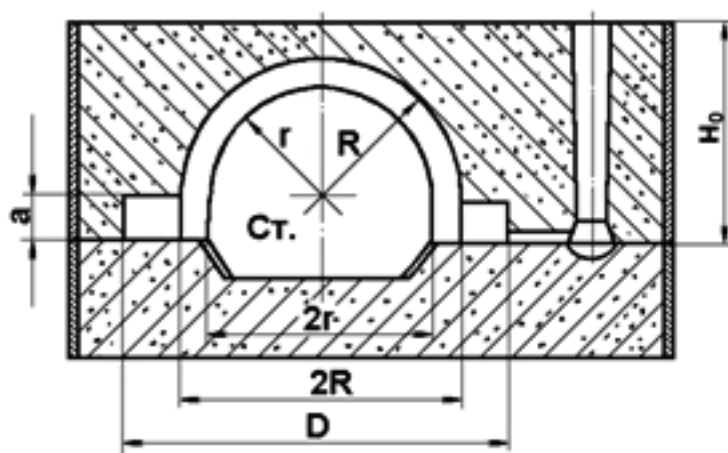


Рис. 1.44. Форма для отливки «Крышка»

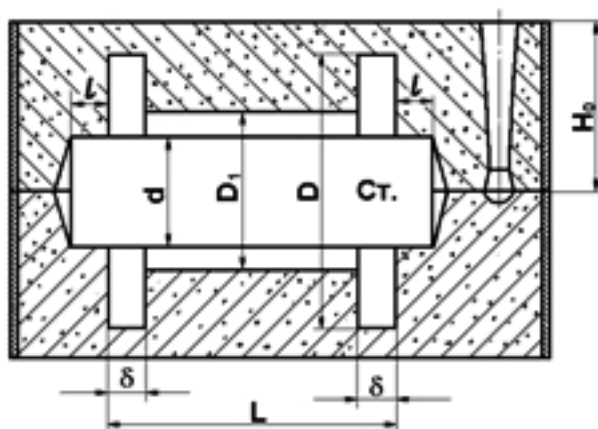


Рис. 1.45. Форма для отливки «Барабан»

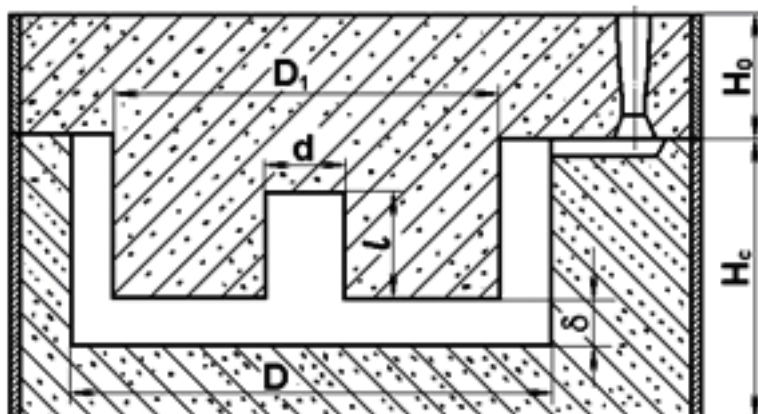


Рис. 1.46. Форма для отливки «Цилиндр»

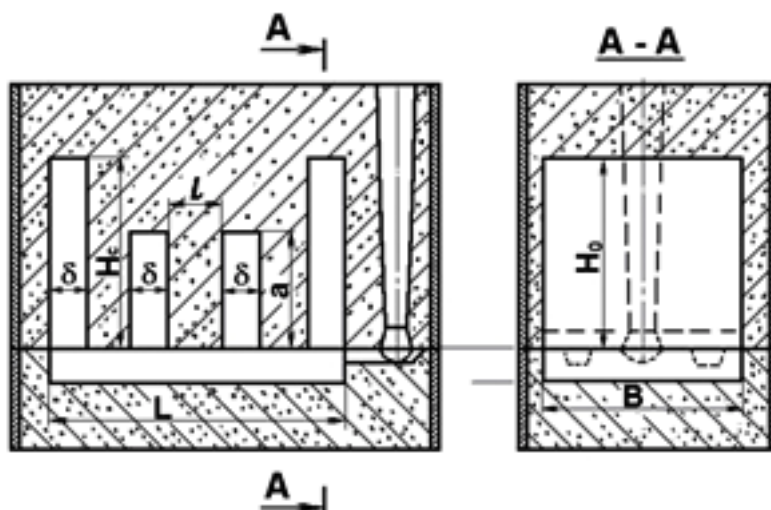


Рис. 1.47. Форма для отливки «Радиатор»

Таблица 1.19

Исходные данные для выполнения задания

Номер вари- анта	Но- мер ри- сунка	Размеры, мм												Масса, кг
		R	r	D	a	H_0	d	Δ	L	D_1	l	H_c	B	
1	1.45	300	200	900	100	500	—	—	—	—	—	—	—	1400
2		400	300	950	100	600	—	—	—	—	—	—	—	1700
3		350	300	900	200	700	—	—	—	—	—	—	—	1200
4		450	400	950	200	800	—	—	—	—	—	—	—	1800
5		250	150	800	100	450	—	—	—	—	—	—	—	1000
6		350	250	800	100	550	—	—	—	—	—	—	—	1100
7	1.46	—	—	600	—	400	520	40	950	500	60	—	—	580
8		—	—	550	—	375	480	35	900	450	60	—	—	480
9		—	—	500	—	350	440	30	800	400	60	—	—	360
10		—	—	450	—	300	400	25	700	350	60	—	—	300
11		—	—	400	—	260	360	20	650	300	60	—	—	190
12		—	—	350	—	230	320	15	600	250	60	—	—	120
13	1.47	—	—	500	—	300	100	40	—	420	200	600	—	260
14		—	—	450	—	300	80	35	—	330	200	500	—	210
15		—	—	400	—	300	60	30	—	340	200	450	—	180
16		—	—	350	—	250	50	25	—	300	150	400	—	150
17		—	—	300	—	200	40	20	—	260	150	350	—	100
18		—	—	250	—	200	30	15	—	220	100	300	—	80
19	1.48	—	—	—	150	380	—	50	600	—	200	300	400	240
20		—	—	—	150	380	—	40	550	—	130	350	350	200
21		—	—	—	150	380	—	40	500	—	140	300	300	160
22		—	—	—	100	280	—	40	450	—	110	250	250	130
23		—	—	—	100	280	—	30	400	—	100	200	200	96

Таблица 1.20

Исходные данные для расчета литниковых систем

Но- мер вари- анта	Но- мер ри- сунка	Сплав	ρ , г/см ³	Способ заливки
1	1.45	Чугун	6,9	Из поворотного ковша
2		Углеродистая сталь	7,0	То же
3		Силумин	2,4	»
4		ЛЦ40С1	8,0	»
5		Углеродистая сталь	7,0	Из стопорного ковша без торможения
6		Углеродистая сталь	7,0	Из стопорного ковша с торможением
7	1.46	Чугун	6,9	Из поворотного ковша
8		Углеродистая сталь	7,0	То же
9		Силумин	2,4	»
10		ЛЦ40С1	8,0	»
11		Углеродистая сталь	7,0	Из стопорного ковша без торможения
12		Углеродистая сталь	7,0	Из стопорного ковша с торможением
13	1.47	Чугун	6,9	Из поворотного ковша
14		Углеродистая сталь	7,0	То же
15		Силумин	2,4	»
16		ЛЦ40С1	8,0	»
17		Углеродистая сталь	7,0	Из стопорного ковша без торможения
18		Углеродистая сталь	7,0	Из стопорного ковша с торможением
19	1.48	Чугун	6,9	Из поворотного ковша
20		Углеродистая сталь	7,0	То же
21		Силумин	2,4	»
22		ЛЦ40С1	8,0	»
23		Углеродистая сталь	7,0	Из стопорного ковша без торможения

Глава 2. ОРГАНИЗАЦИЯ ПИТАНИЯ ОТЛИВКИ

Из теории литейных процессов известно, что объемные изменения, происходящие при затвердевании сплава, могут привести к образованию объемных усадочных дефектов в отливках. Для того чтобы исключить их возникновение, необходимо обеспечить компенсацию объемной усадки во всех участках отливки путем беспрепятственной доставки к ним необходимых объемов жидкого сплава из прибыли. Процесс компенсации объемной усадки называется *питанием отливки*.

2.1. Обеспечение направленного затвердевания отливки

Для осуществления эффективного питания отливки необходимо обеспечить ее направленное к прибыли затвердевание. При этом должны выполняться два условия:

- по мере приближения к прибыли продолжительность затвердевания сечений отливки должна монотонно увеличиваться;
- сплав в прибыли должен затвердевать последним.

В тех элементах отливки, где нарушается направленность затвердевания, возникают усадочные дефекты.

2.1.1. Анализ конфигурации отливки.

Определение узлов питания

При организации питания отливки технолог прежде всего должен проанализировать ее конфигурацию с точки зрения направленности затвердевания. Очевидно, что при одинаковых теплофизических условиях направленность затвердевания отливки обеспечивается, если толщина стенки отливки по направлению к прибыли монотонно увеличивается. Участки, где имеются сужения сечения отливки, нарушают направленность ее затвердевания. За такими сужениями будут находиться зоны отливки, которые не могут получать питание из прибыли. Если не организовать питание из прибылей, установленных для этих зон, то в них образуются усадочные дефекты.

В технологической практике при анализе конфигурации отливки широко применяют *метод вписанных окружностей* (или шаров). Сущность метода сводится к следующему. В наиболее массивные части отливки впи-

сывают окружности. Если их можно беспрепятственно выкатить через стенки отливки в прибыль, то направленность затвердевания будет обеспечена и прибыль позволит осуществить питание отливки. Применение этого метода наглядно иллюстрирует рис. 2.1. В отличие от окружности, вписанной в участок 2, окружность, вписанную в участок 1 (рис. 2.1, а), нельзя выкатить в прибыль. Поэтому, если не принять необходимых мер, в данном участке отливки образуются усадочные дефекты. Для питания этого участка можно, например, установить дополнительную прибыль 3. На рис. 2.1, г показана отливка, удовлетворяющая принципу направленного затвердевания, так как окружности, вписанные во все элементы отливки, можно беспрепятственно выкатить в прибыль.

Для обеспечения эффективного питания отливки необходимо, чтобы все изолированные друг от друга массивные части получали питание из прибылей. Изолированными частями отливки называются те части, из которых нельзя выкатить вписанные в них окружности через соседние элементы в другие массивные части. На практике эти изолированные узлы отливки называются *узлами питания*. Очевидно, что число устанавливаемых прибылей должно быть равно числу узлов питания.

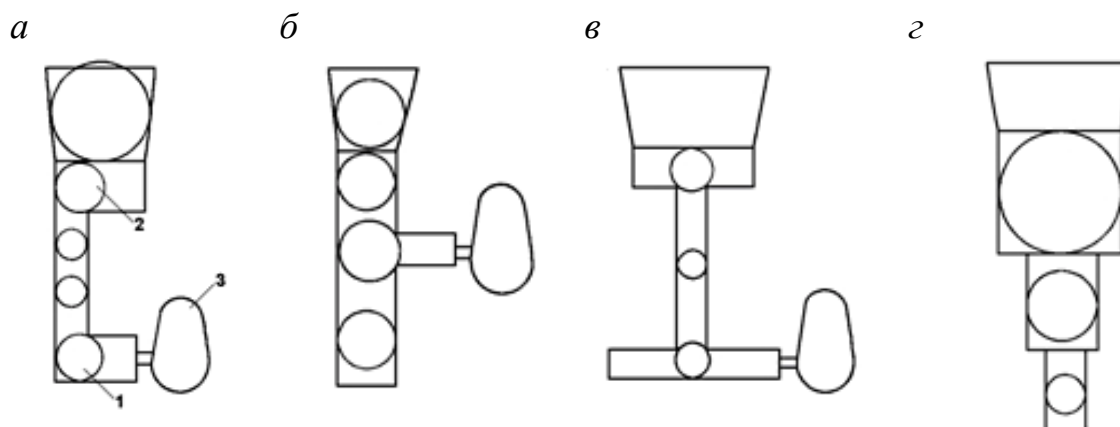


Рис. 2.1. Применение метода вписанных окружностей:

а–г – типы конструкций отливок

На рис. 2.2 показаны примеры определения числа узлов питания для некоторых отливок.

В отливке «Колесо» (рис. 2.2, а) можно выделить два изолированных массивных узла. Действительно, окружность, вписанную в узел 1, нельзя выкатить через тонкий диск в узел 2 и в прибыль, расположенную над ним. Аналогично в узел 1 нельзя выкатить окружность, вписанную в узел 2.

Принцип направленного затвердевания в ступице не выполняется, и прибыль не обеспечит питание узла 2. Поэтому у данной отливки будет два питаемых узла: узел, включающий в себя ступицу и часть диска, и узел, включающий в себя обод и часть диска. Над каждым из этих узлов необходимо установить прибыль.

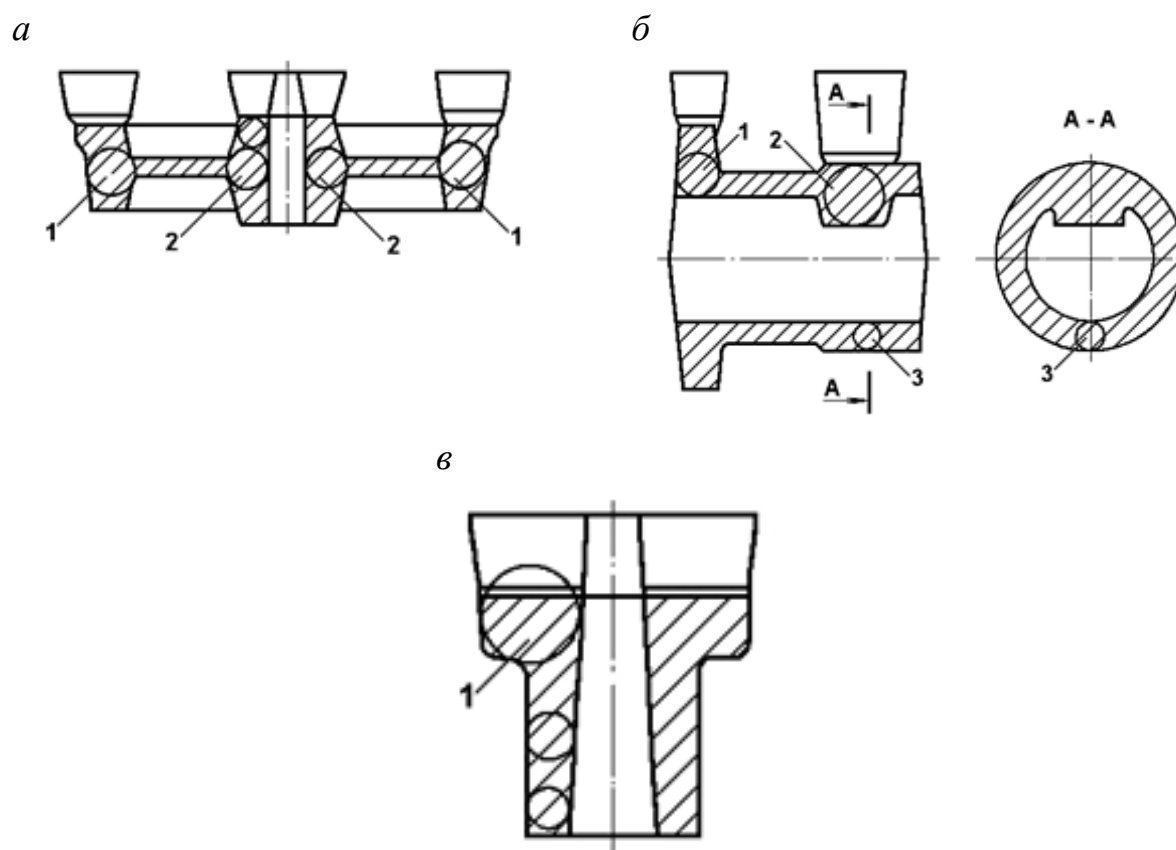


Рис. 2.2. Примеры определения числа узлов питания для отливок:

а – «Колесо»; *б* – «Корпус»; *в* – «Цилиндр»

В отливке «Корпус» (рис. 2.2, б) тоже два питаемых узла, включающих в себя массивные узлы 1 и 2. Массивный узел 3 не является изолированным от узла 2, так как вписанную в него окружность можно выкатить через тело отливки в узел 2 и в прибыль над ним (разрез А–А на рис. 2.2, б). Поэтому узел 3 будет получать питание из прибыли над узлом 2.

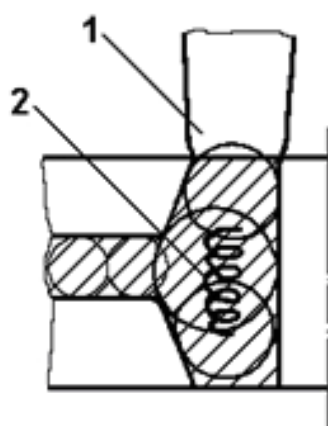
На рис. 2.2, в показана отливка «Цилиндр», представляющая собой единый питаемый узел, так как окружность, вписанную в любое место сечения тела отливки, можно выкатить в массивный узел 1 и в прибыль.

Для обеспечения направленного затвердевания отливок применяются различные мероприятия.

2.1.2. Построение технологических напусков

Чтобы обеспечить направленное затвердевание отливок в случаях, аналогичных организации питания ступицы колеса (см. рис. 2.2, *а*), часто применяют технологические напуски. На рис. 2.3 показано сочленение ступицы колеса с диском. Как видно на рис. 2.3, *а*, направленность затвердевания здесь нарушена.

а



б

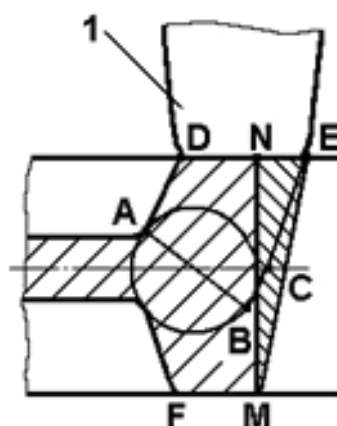


Рис. 2.3. Схемы применения метода вписанных окружностей (*а*) и построения технологического напуска (*б*):

1 – прибыль; *2* – холодильник

Принцип построения технологического напуска показан на рис. 2.3, *б*. В тепловой узел вписывают окружность. Затем через точку касания *A* проводят диаметр *AB* и из точки *A* вычерчивают дугу окружности радиусом *AB* до ее пересечения с горизонтальным диаметром в точке *C*. Если через точку *C* провести прямую, параллельную прямой *AD*, то окружность можно будет выкатить в прибыль через сечение *DABCE*. Так как полученный профиль стенки отливки *DAFMBCE* усложняет конфигурацию стержня, выполняющего отверстие в отливке, строят упрощенный профиль напуска, проводя прямую, соединяющую точку *E* с точкой *M*.

Другие примеры построения технологических напусков показаны на рис. 2.4.

Пример построения технологических напусков для устранения термических узлов сложной отливки приведен на рис. 2.5. Как видно, с помощью технологических напусков не устраняются термические узлы в зонах *B* и *A*. Для питания узла *B* установлена боковая прибыль *1*, а для устранения термических узлов *A* применены наружные холодильники *X* (см. п. 2.1.4).

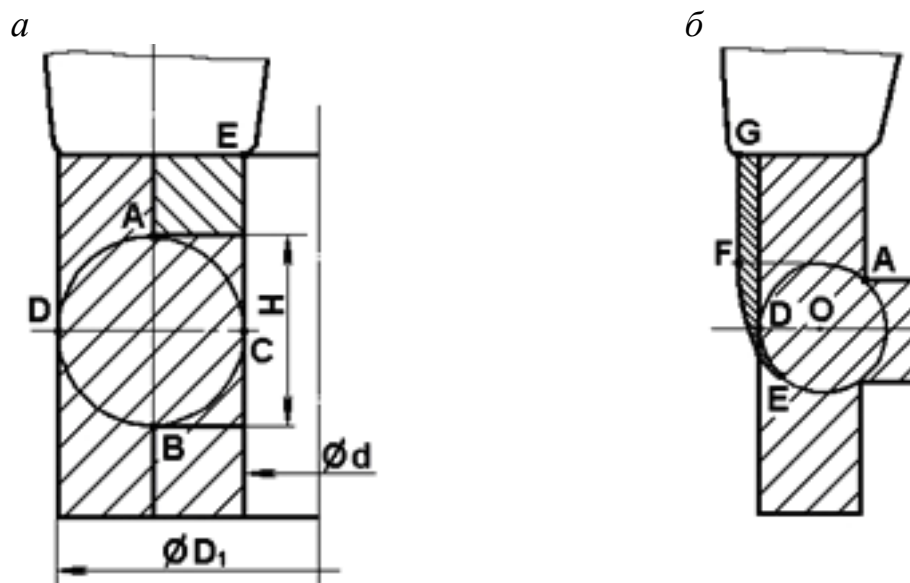


Рис. 2.4. Примеры построения технологических напусков:

a, б – типы конструкций отливой

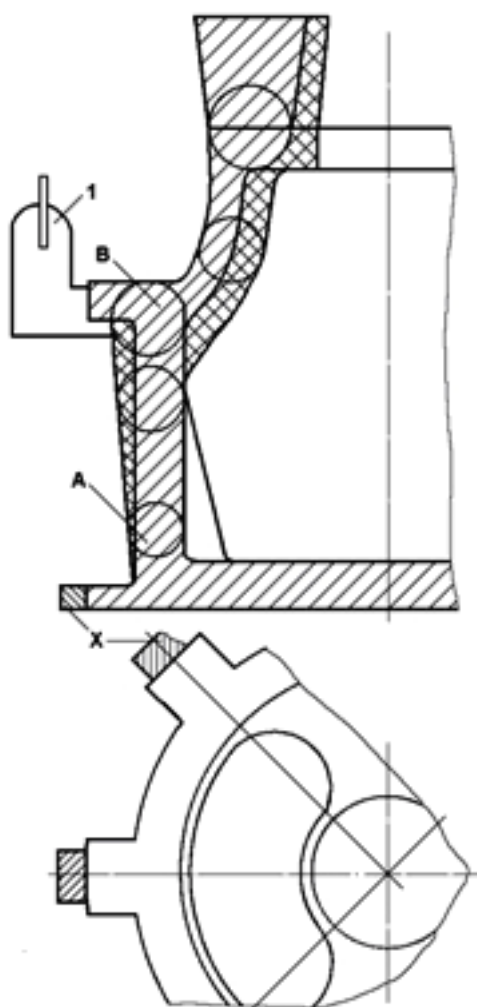


Рис. 2.5. Устранение термических узлов сложной отливки

2.1.3. Расчет и конструирование внутренних и наружных холодильников

Очевидно, что применение технологических напусков не только увеличивает расход металла на отливку, но и требует дополнительной механической обработки отливки по их удалению. Поэтому часто для обеспечения направленного затвердевания и устранения термических узлов применяют внутренние и наружные холодильники.

Внутренний холодильник представляет собой тело из сплава, близкого по своим свойствам к материалу отливки, которое устанавливают в полость, оформляющую массивный тепловой узел. Установка холодильника за счет отвода тепла на его нагрев ускоряет затвердевание массивного узла отливки. При правильном выборе массы и размеров холодильника можно обеспечить монотонное увеличение продолжительности затвердевания сечений отливки по направлению к прибыли.

На рис. 2.6 приведена схема отливки, содержащей массивный узел, отделенный от прибыли тонкой стенкой. Очевидно, что при отсутствии холодильника продолжительность затвердевания массивного узла t_m больше продолжительности затвердевания расположенной сверху стенки t_b , т. е. направленность затвердевания нарушена. Для ее обеспечения необходимо за счет установки холодильника X уменьшить величину t_m так, чтобы выполнялось условие $t_n < t_m < t_b$, где t_n – продолжительность затвердевания нижней части стенки.

В основу расчета массы холодильника m_x положим следующее уравнение теплового баланса:

$$Q_{\text{охл}} + C_x \cdot m_x (T_k - T_0) = C(M - m_x)(T_{\text{зал}} - T_l) + L(M - m_x), \quad (2.1)$$

где $Q_{\text{охл}}$ – тепло, отведенное от теплового узла в форму за время затвердевания массивного узла;

C_x – удельная теплоемкость материала холодильника;

C – удельная теплоемкость жидкого сплава;

$T_{\text{зал}}$ – температура заливки;

T_l – температура ликвидуса сплава;

T_k – конечная температура холодильника;

L – удельная теплота кристаллизации сплава;

M – масса теплового узла отливки;

T_0 – начальная температура холодильника.

Расплавление холодильника в ходе затвердевания отливки нежелательно, так как при его последующем затвердевании в зоне установки холодильника могут возникать усадочные дефекты. Поэтому примем, что $T_{\text{к}} = T_{\text{с}}$, где $T_{\text{с}}$ – температура солидуса материала холодильника. В первом приближении количество тепла, отводимого в форму, можно рассчитать по формуле

$$Q_{\text{охл}} = 2b_{\text{ф}}(T_{\text{л}} - T_0) \cdot S \cdot \sqrt{t_{\text{м}} / \pi},$$

где S – площадь поверхности охлаждения термического узла;
 $b_{\text{ф}}$ – коэффициент аккумуляции тепла формой.



Рис. 2.6. Схема установки внутреннего холодильника (X)
 в массивном узле отливки:

$h_{\text{в}}, h_{\text{н}}, h_{\text{м}}$ – высота верхней, нижней и массивной частей отливки; $\delta_{\text{в}}, \delta_{\text{н}}, \delta_{\text{м}}$ – толщина верхней, нижней и массивной частей отливки

С учетом этого с помощью выражения (2.1) находим время затвердевания термического узла:

$$\sqrt{t_{\text{м}}} = \sqrt{\pi} \cdot M \frac{(1 - \frac{m_{\text{х}}}{M}) \cdot [C(T_{\text{зал}} - T_{\text{л}}) + L] - \frac{m_{\text{х}}}{M} \cdot C_{\text{х}}(T_{\text{с}} - T_0)}{2b_{\text{ф}}(T_{\text{л}} - T_{\text{с}}) \cdot S}. \quad (2.2)$$

Для выполнения условия $t_{\text{н}} < t_{\text{м}} < t_{\text{в}}$ или $\sqrt{t_{\text{н}}} < \sqrt{t_{\text{м}}} < \sqrt{t_{\text{в}}}$ необходимо выполнение условия

$$A < \frac{m_{\text{х}}}{M} < B, \quad (2.3)$$

где
$$A = \frac{1 - R_{\text{в}}/R_{\text{м}}}{\frac{C_{\text{х}}(T_{\text{с}} - T_{\text{л}})}{C(T_{\text{зал}} - T_{\text{л}}) + L} + 1}; \quad B = \frac{1 - R_{\text{н}}/R_{\text{м}}}{\frac{C_{\text{х}}(T_{\text{с}} - T_0)}{C(T_{\text{зал}} - T_{\text{л}}) + L} + 1};$$

$R_{\text{м}} = V_{\text{м}} / S$, $R_{\text{в}} = V_{\text{в}} / S_{\text{в}}$, $R_{\text{н}} = V_{\text{н}} / S_{\text{н}}$ – приведенные толщины стенок термического узла отливки, ее верхней и нижней частей;

$V_{\text{м}}$, $V_{\text{в}}$, $V_{\text{н}}$ – объемы термического узла отливки, ее верхней и нижней частей;

$S_{\text{в}}$, $S_{\text{н}}$ – площади поверхностей охлаждения верхней и нижней стенок отливки.

При выводе неравенства (2.3) принято, что значения времени затвердевания элементов отливки равны:

$$t_{\text{м}} = (R_{\text{м}} / K_3)^2, \quad t_{\text{в}} = (R_{\text{в}} / K_3)^2, \quad t_{\text{н}} = (R_{\text{н}} / K_3)^2,$$

где K_3 – константа затвердевания.

$$K_3 = 2 \frac{b_{\text{ф}}(T_{\text{л}} - T_0)}{\sqrt{\pi} \cdot ((T_{\text{зал}} - T_{\text{л}}) \cdot C + L) \cdot \rho},$$

где ρ – плотность сплава.

Очевидно, что если принцип направленности затвердевания в конструкции отливки соблюден, т. е. $R_{\text{н}} < R_{\text{м}} < R_{\text{в}}$, то $A < 0$ и неравенство (2.3) будет выполнено при отсутствии холодильника ($m_{\text{х}} = 0$).

С помощью внутреннего холодильника можно обеспечить направленное затвердевание отливки, если $R_{\text{в}} > R_{\text{н}}$. В противном случае ни при каких значениях $m_{\text{х}}$ неравенство (2.3) выполнить не удастся. Добиться выполнения условия $R_{\text{в}} > R_{\text{н}}$ можно, перевернув отливку при заливке или применив для оформления нижней стенки отливки смесь с большим значением $b_{\text{ф}}$. Если тепловой узел расположен в нижнем сечении отливки, т. е. нижняя стенка отсутствует, то $m_{\text{х}} / M = A$.

Уравнение (2.1) справедливо, если к моменту затвердевания между сплавом и холодильником устанавливается тепловое равновесие при температуре, равной T_c . Если холодильник массивный и его относительная масса m_x / M велика, то после затвердевания сплава прогрев холодильника будет продолжаться. Это приведет к возникновению трещин и к несвариваемости холодильника с материалом отливки. Если же величина m_x / M мала или толщина холодильника невелика, то он расплавится, что может привести к образованию пористости и усадочных раковин. Поэтому при конструировании внутренних холодильников нужно соблюдать следующие условия:

- относительная масса холодильников при стальном литье не должна превышать 0,04–0,07. Если при такой массе холодильников не удастся обеспечить направленное затвердевание, то необходимо применить другие методы;
- для предотвращения несвариваемости холодильники должны находиться от поверхности формы на расстоянии, равном 4–5 их диаметрам;
- для улучшения свариваемости необходимо применять холодильники из стали, имеющей такую же температуру плавления, что и заливаемый металл. На практике чаще всего применяют холодильники из углеродистых сталей с содержанием углерода до 0,25 % (стали Ст. 2 и Ст. 3);
- холодильники должны пройти дробеструйную обработку и не иметь следов оксидов на поверхности;
- максимальный диаметр или сторона квадрата холодильника не должны превышать 0,25 толщины стенки отливки;
- холодильники должны устанавливаться в форму после сушки во избежание их окисления;
- сырые формы с внутренними холодильниками необходимо заливать не позднее 8–10 ч после сборки.

На практике применяют холодильники в виде скоб, костылей, решеток, ежей и спиралей (рис. 2.7). Основные размеры и общий вид внутренних холодильников (ежей, решеток и спиралей) показаны на рис. 2.8. Холодильники в виде ежей и сварных решеток применяются в стенках отливок, толщина которых превышает 80 мм. Отливки с равномерным сечением тела значительной протяженности охлаждаются внутренними холодильниками в виде костылей или скоб.

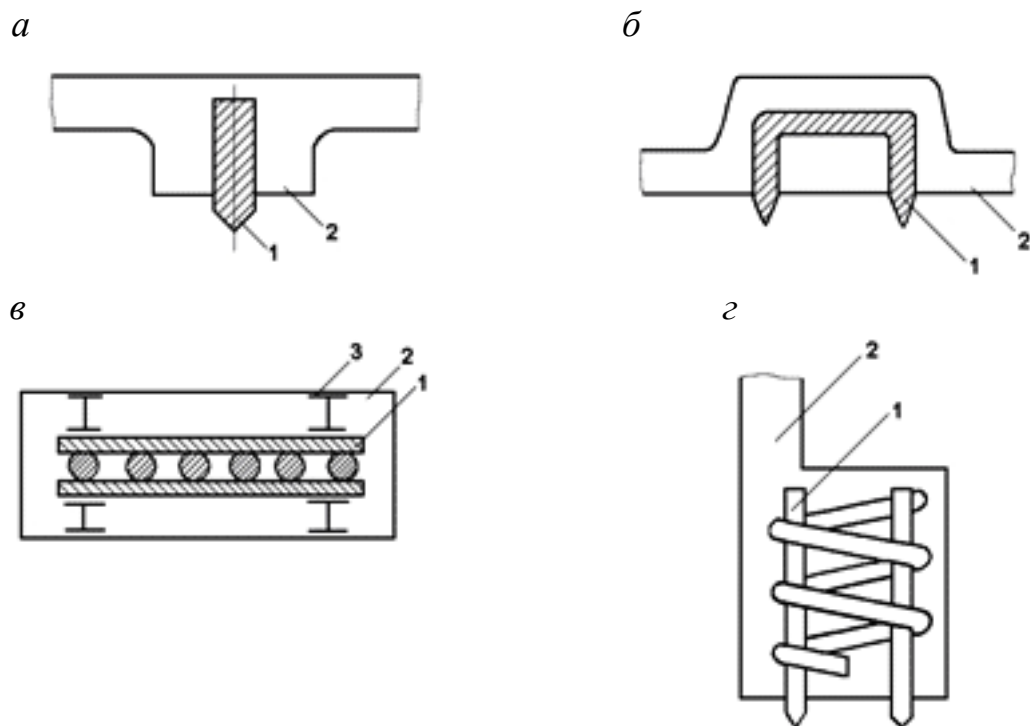


Рис. 2.7. Схемы установки холодильников в тепловых узлах отливок:

a – костыль; *б* – скоба; *в* – решетка; *г* – спираль;
1 – холодильник; *2* – тепловой узел; *3* – жеребейка

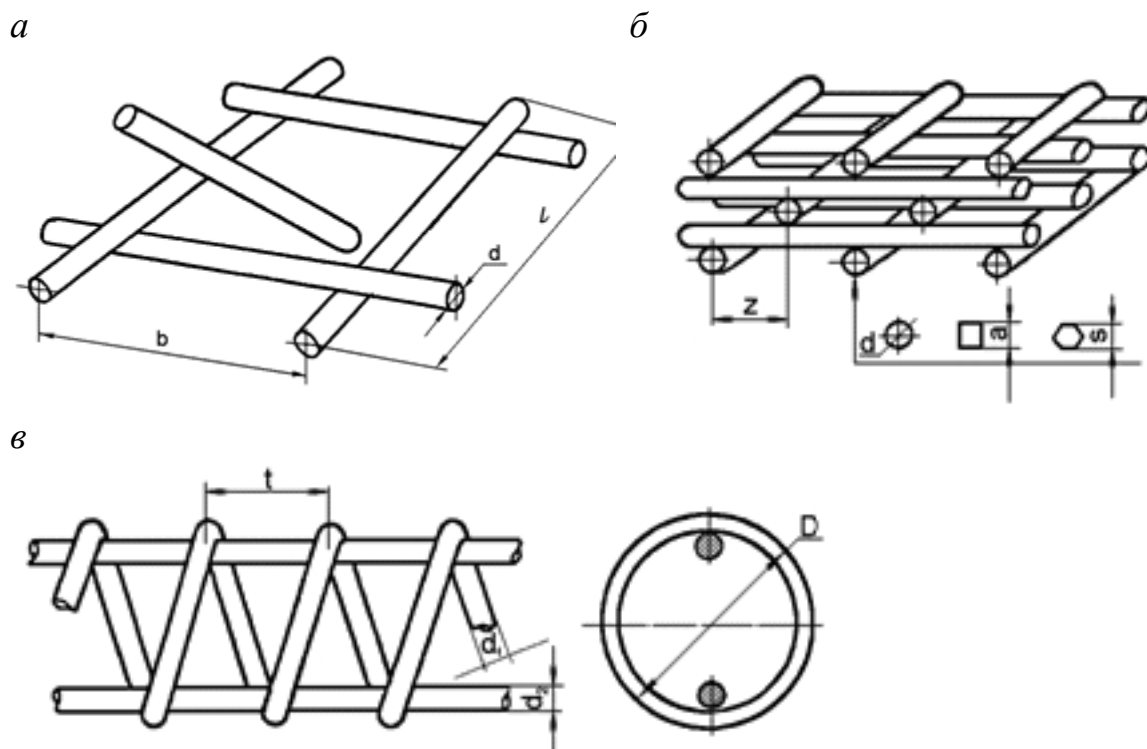


Рис. 2.8. Размеры и форма внутренних холодильников:

a – ежей; *б* – сварных; *в* – спиральных

Параметры холодильников различных типов приведены в табл. 2.1–2.3 [15]. Диаметр холодильников типа костылей и скоб принимается равным $0,2 D_{\text{в}}$, где $D_{\text{в}}$ – диаметр вписанной в термический узел окружности. Скобы, костыли и спирали укрепляются в стенках формы (заостренные концы забиваются в форму). Холодильники в виде многоярусных решеток устанавливаются в форму на жеребейках на расстоянии не ближе трех диаметров прутков от поверхности формы (рис. 2.7, в). Холодильники-ежи устанавливаются в форму так, чтобы с ее стенкой они соприкасались только торцевой частью прутков.

Внутренние холодильники нецелесообразно применять при изготовлении отливок из хромоникелевых, хромомолибденовых сталей, а также отливок ответственного назначения. Они не используются при изготовлении отливок из легкоокисляющихся сплавов, например алюминиевых и магниевых.

Элемент формы, применяемый для ускорения затвердевания тепловых узлов отливки, выполненный из материала с большим коэффициентом аккумуляции тепла, чем у основного, называется наружным холодильником. Схемы расположения наружных холодильников в термических узлах отливки показаны на рис. 2.9. Размеры наружных холодильников приведены в табл. 2.4. Холодильники выполняют из чугуна или медных сплавов. Захлаживающий эффект холодильника зависит от его массы, коэффициента аккумуляции тепла. Толщина или диаметр холодильника зависит от толщины или диаметра захлаживающего узла отливки.

Наиболее целесообразной формой плоского холодильника является трапеция. При этом, чем ближе к краям, тем больше снижается его захлаживающее действие. Это препятствует возникновению резких перепадов температуры в отливке в местах сопряжения краев холодильника с песчаной формой. Толщину плоских холодильников для стальных отливок можно определить по табл. 2.5. Она зависит от толщины основной стенки отливки b и высоты утолщения стенки в термическом узле $(A - b)$ (см. рис. 2.9).

Толщину плоских и фасонных, а также диаметр круглых холодильников для цветных сплавов можно определить по соотношениям

$$a = (0,6 - 1,25) \cdot b_y, b_x = (0,6 - 1,25) \cdot D_y, d_x = (0,6 - 1,25) \cdot D_y,$$

где b_y и d_y – толщина и диаметр захлаживаемого узла отливки.

Таблица 2.1

Размеры и масса спиральных холодильников

D , мм	d_1 , мм	d_2 , мм	t , мм	Масса погонного метра спирали $M_{сп}$, кг, при шаге t , мм					$M_{пр}^*$, кг
				10	15	20	25	30	
24	2	—	10–15	0,181	0,121	—	—	—	—
26	3	—	10–15	0,450	0,159	—	—	—	—
36	3	—	15–20	—	0,407	0,305	—	—	—
38	4	—	15–20	—	0,796	0,580	—	—	—
48	4	6	20–25	—	—	0,732	0,586	—	0,22
50	5	6	20–25	—	—	1,193	0,955	—	0,22
52	6	8	20–25	—	—	1,800	1,440	—	0,39
60	5	8	25–30	—	—	—	1,150	0,960	0,39
62	6	10	25–30	—	—	—	1,730	1,426	0,60
70	5	10	25–30	—	—	—	1,338	1,114	0,60

* $M_{пр}$ — масса погонного метра прутка.

Таблица 2.2

Размеры и масса холодильников типа ежей

Длина l , мм	Ширина b , мм	Диаметр d , мм	Масса 1 шт., кг
80	30	6,5	0,10
100	40	10,0	0,31
100	40	12,0	0,45
150	50	16,0	1,17
200	80	18,0	2,00
250	100	28,0	6,00

Таблица 2.3

Размеры и масса сварных холодильников различной формы сечения

d , мм	a , мм	s , мм	z , мм, при			$M_{пр}$, кг, при		
			d	a	s	d	a	s
8–10	12	17	40–50	70–80	80–90	0,37–0,6	1,13	1,96
12–14	16	19	60–70	90–100	90–100	0,98–1,35	2,01	2,45
16–18	20	24	80–90	120–130	120–130	1,39–1,90	3,14	3,92
20–22	30	30	100–110	180–190	150–160	2,44–3,12	7,06	6,12
24–25	—	36	120–125	—	180–190	3,5–3,8	—	8,81
28–30	—	—	140–150	—	—	4,64–5,49	—	—
32	—	—	160	—	—	6,48	—	—
36	—	—	180	—	—	7,53	—	—

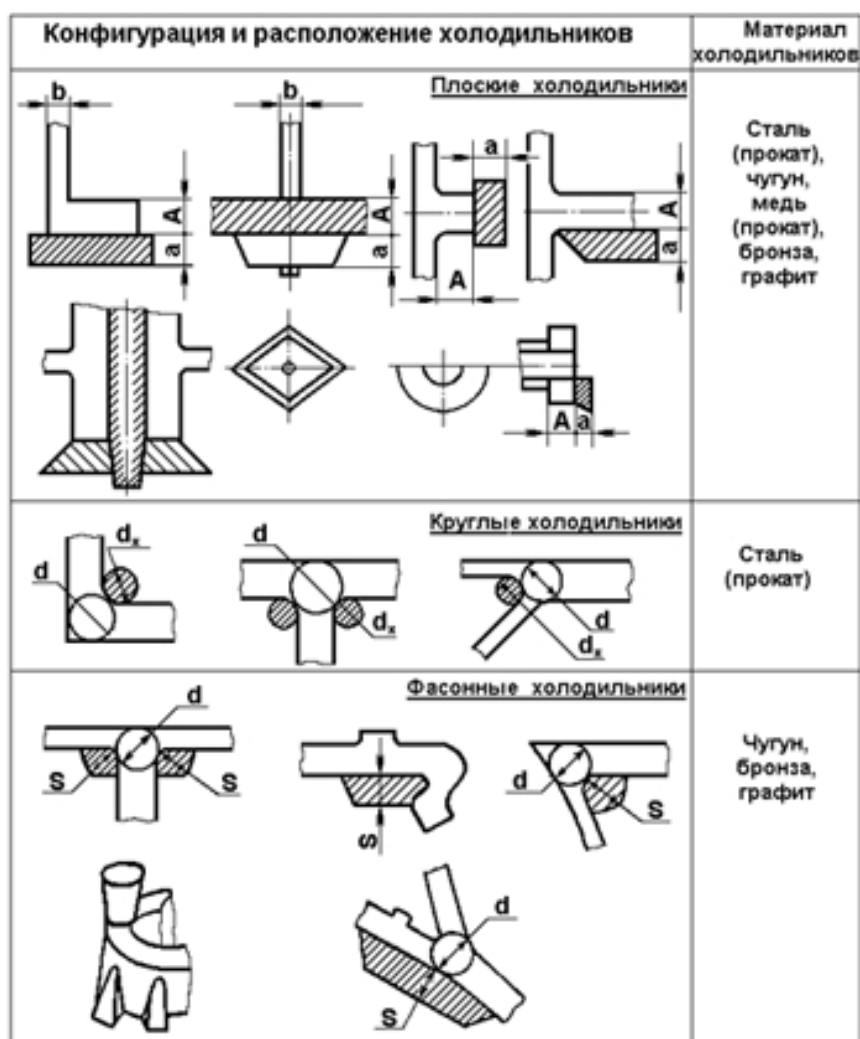


Рис. 2.9. Схемы расположения плоских, круглых и фасонных наружных холодильников

Таблица 2.4

Размеры наружных холодильников, мм

Толщина A или диаметр d захлажи- ваемого узла	Материал холодильников					
	Чугун (сталь)			Бронза (медь)		
	a	d_x	S	a	d_x	S
15–30	$(0,7–1,2)A$	9–25	$(0,8–1,0)d$	$(0,8–1,0)A$	9–20	$(0,8–1,0)d$
30–50	$(0,7–1,25)A$	25–40	$(0,8–1,25)d$	$(0,8–1,25)A$	20–30	$(0,8–1,25)d$
60–70	$(0,9–1,25)A$	40–60	$(0,9–1,25)d$	$(0,9–1,25)A$	30–50	$(0,9–1,25)d$

Перед установкой наружных холодильников в форму их подвергают дробеструйной очистке и покрывают кокильной краской.

Таблица 2.5

Толщина плоских холодильников для стальных отливок

Толщина основной стенки b , мм	Толщина холодильника, мм, при высоте утолщения, % от толщины основной стенки		
	25	37,5	50
10	3	8	15
20	5	15	30
30	8	23	45
40	10	30	60
50	13	38	75

Для обеспечения направленного затвердевания отливок применяют захлаживающие (для массивных узлов) и теплоизолирующие (для тонкостенных элементов) смеси. Для захлаживания используют смеси, содержащие чугунную стружку или дробь, магнезитовые и хромомagneзитовые облицовки. В качестве теплоизолирующих смесей применяют смеси с древесными опилками, асбестовой или шамотной крошкой.

2.2. Виды прибылей. Определение количества прибылей

Для обеспечения питания каждого термического узла отливки необходимо предусмотреть прибыль. При этом отливку разбивают на питаемые узлы, к каждому из которых относится соответствующий термический узел и примыкающие к нему участки отливки.

2.2.1. Классификация прибылей

Применяемые на практике прибыли различают по следующим классификационным признакам:

- по направлению движения расплава при питании отливки из прибыли;
- конфигурации прибыли;
- тепловым условиям затвердевания сплава в прибыли;
- величине давления на сплав в прибыли в процессе питания отливки.

Прибыль, верхняя поверхность которой сообщается с атмосферой и выходит на верхнюю поверхность формы, называется *открытой* (рис. 2.10).

В *закрытой* прибыли вся ее поверхность, кроме участка контакта с питаемым узлом, выполняется формой (рис. 2.11).

По конфигурации прибыли подразделяются на шаровые, полушаровые, конические круглого сечения, конические овального сечения, с формой сечения, приближающейся к горизонтальному сечению узла питания, и призматические прямоугольного сечения. Конфигурации указанных типов прибылей приведены на рис. 2.12.

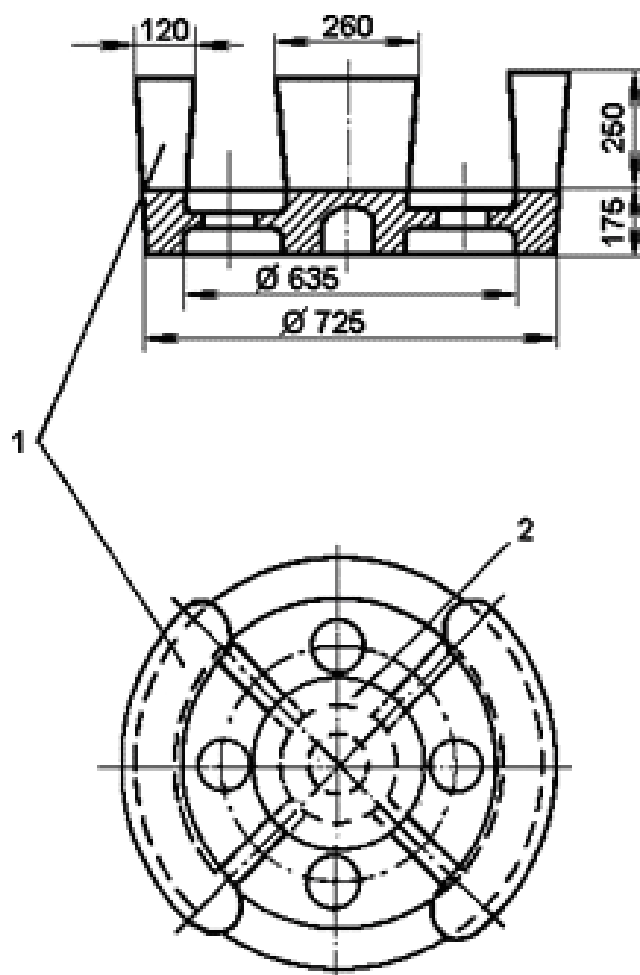


Рис. 2.10. Установка прибылей на отливке «Зубчатое колесо»:

1 – секторная открытая прибыль на ободе; 2 – открытая прибыль на ступице

По направлению движения расплава при питании отливки из прибыли различают прямые, местные и боковые прибыли.

При питании из прибыли прямого действия (рис. 2.12, е) сплав, компенсирующий усадку, подается в отливку по кратчайшему пути, что повышает эффективность работы прибыли. Недостатком прямых прибылей, если они устанавливаются, например, по всему периметру кольцевой отливки, является большой расход металла из прибыли.

С целью экономии металла можно устанавливать вместо одной сплошной прибыли несколько местных (см. рис. 2.10). При применении местных прибылей прямое питание получают только части отливки, находящиеся непосредственно под прибылями. Части, находящиеся между прибылями, получают уже боковое питание. При этом различного рода включения не могут всплыть в прибыль. Поэтому на верхней поверхности отливки необходимо предусматривать повышенные припуски на механическую обработку. Местные прибыли обеспечивают питание примыкающих к ним участков отливки на определенную длину, называемую зоной действия прибыли (см. п. 2.2.2).

Для протяженных отливок с большим отношением длины к толщине или ширине целесообразно применять боковые прибыли (рис. 2.13). Такие прибыли используют также при изготовлении отливок из сплавов, плохо обрабатываемых резанием (сталь 110Г13Л, ковкий чугун и т. п.).

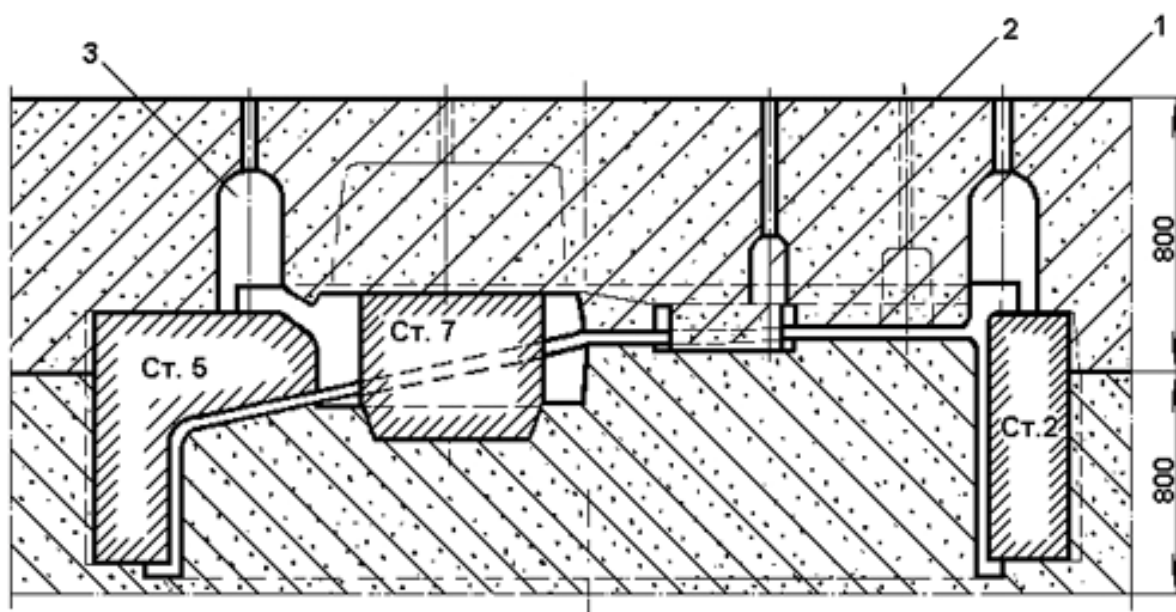


Рис. 2.11. Установка закрытых прибылей
на отливке «Корпус редуктора»:

1, 2, 3 – прибыли

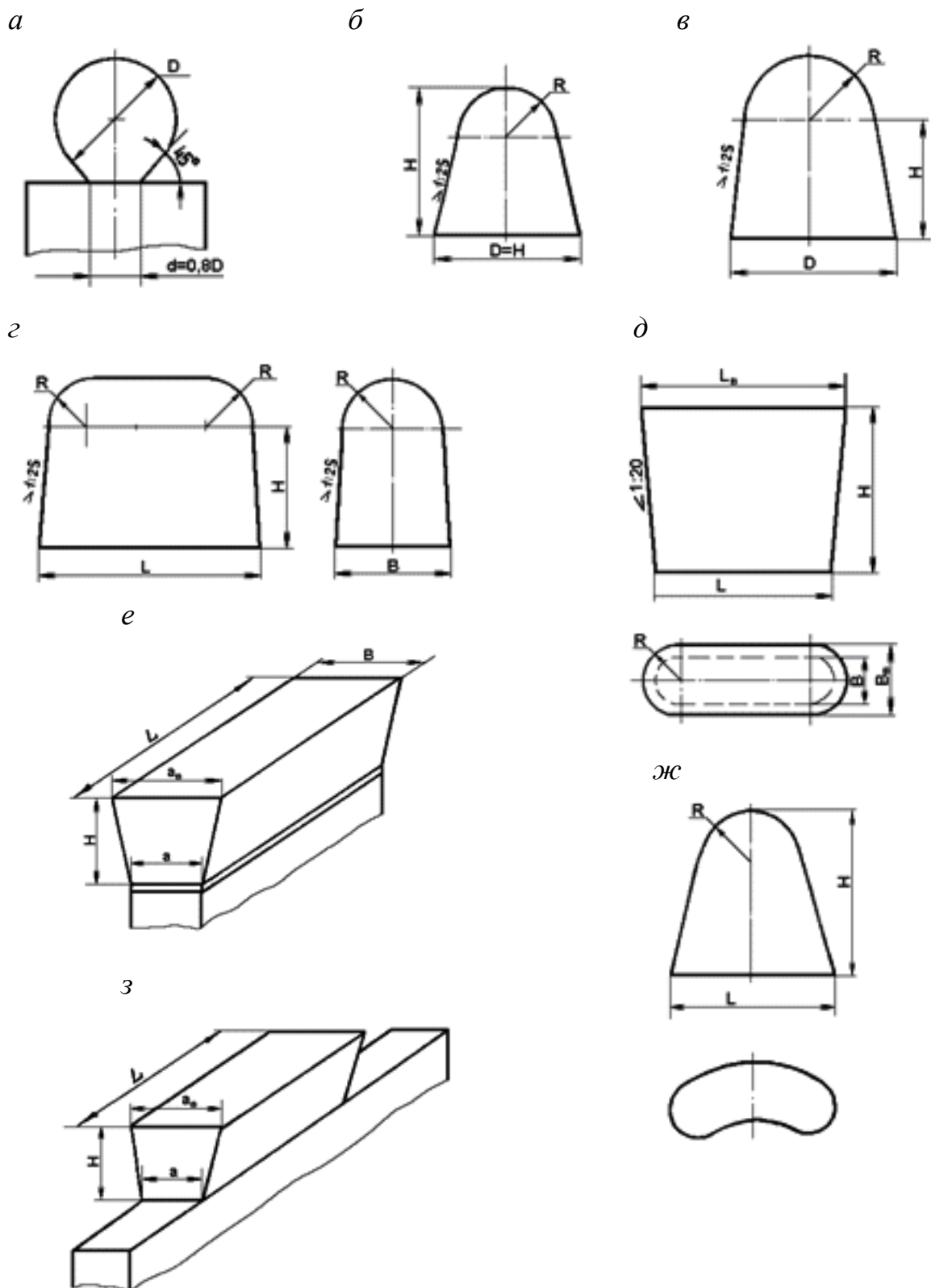


Рис. 2.12. Конструктивные типы прибылей:

a – шаровая; $б$ – полушаровая; $в$ – коническая закрытая; $г$ – овальная закрытая;
 $д$ – открытая коническая; $е$ – призматическая открытая прямого действия;
 $ж$ – закрытая с формой сечения, близкой к горизонтальному сечению узла питания;
 $з$ – местная призматическая закрытая

Для уменьшения охлаждения расплава в прибыли и повышения ее экономичности применяют прибыли с теплоизоляцией и подогревом сплава с помощью экзотермических вставок (экзотермические прибыли), электрической дуги и т. п.

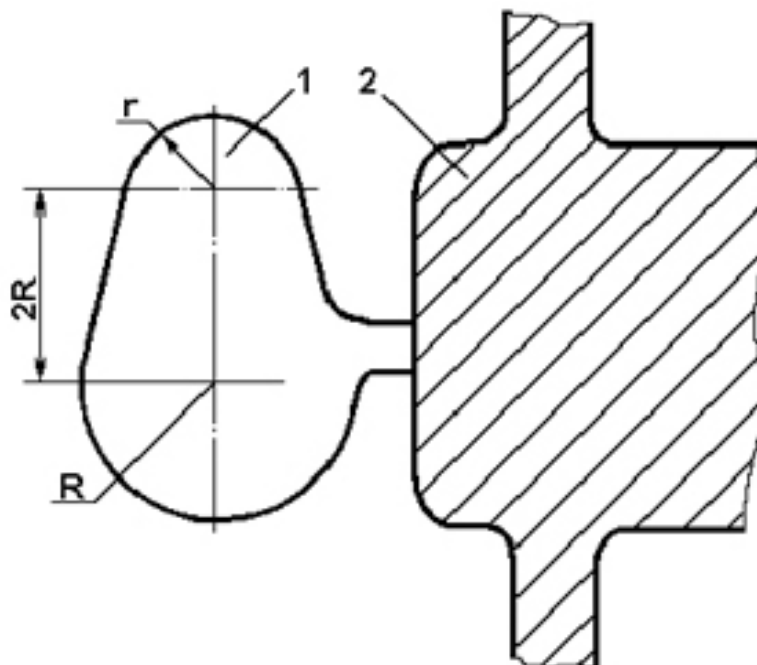


Рис. 2.13. Схема боковой прибыли:

1 – прибыль; 2 – отливка

Для повышения эффективности работы прибылей с точки зрения обеспечения фильтрационного и суспензионного питания, что особенно важно для устранения пористости отливок, применяют повышенное газовое давление в прибылях. Открытые прибыли в данном случае более эффективны, так как расплав в них находится под атмосферным давлением.

2.2.2. Определение протяженности зон действия прибылей

Прибыли эффективно питают только примыкающие к ним части отливки. Поэтому при применении местных прибылей нужно установить протяженность зоны, эффективно питаемой прибылью. Она называется *зоной действия прибыли*. Ее протяженность зависит от толщины стенки отливки. Около торцов отливки из-за охлаждающего торцевого эффекта зона действия прибыли увеличивается. Очевидно, что расстояние между соседними установленными на отливке прибылями должно быть не более сум-

мы протяженностей зон действия прибылей. Если между прибылями установить холодильник, то из-за его охлаждающего влияния зона действия каждой прибыли увеличится.

Расчет протяженности зон действия прибылей для разных сплавов и различных схем и сечений отливок (рис. 2.14) следует проводить по соотношениям, приведенным в табл. 2.6. При подводе сплава под прибыль зоны действия могут быть увеличены на 30–40 % по сравнению с данными, рассчитанными по этим соотношениям.

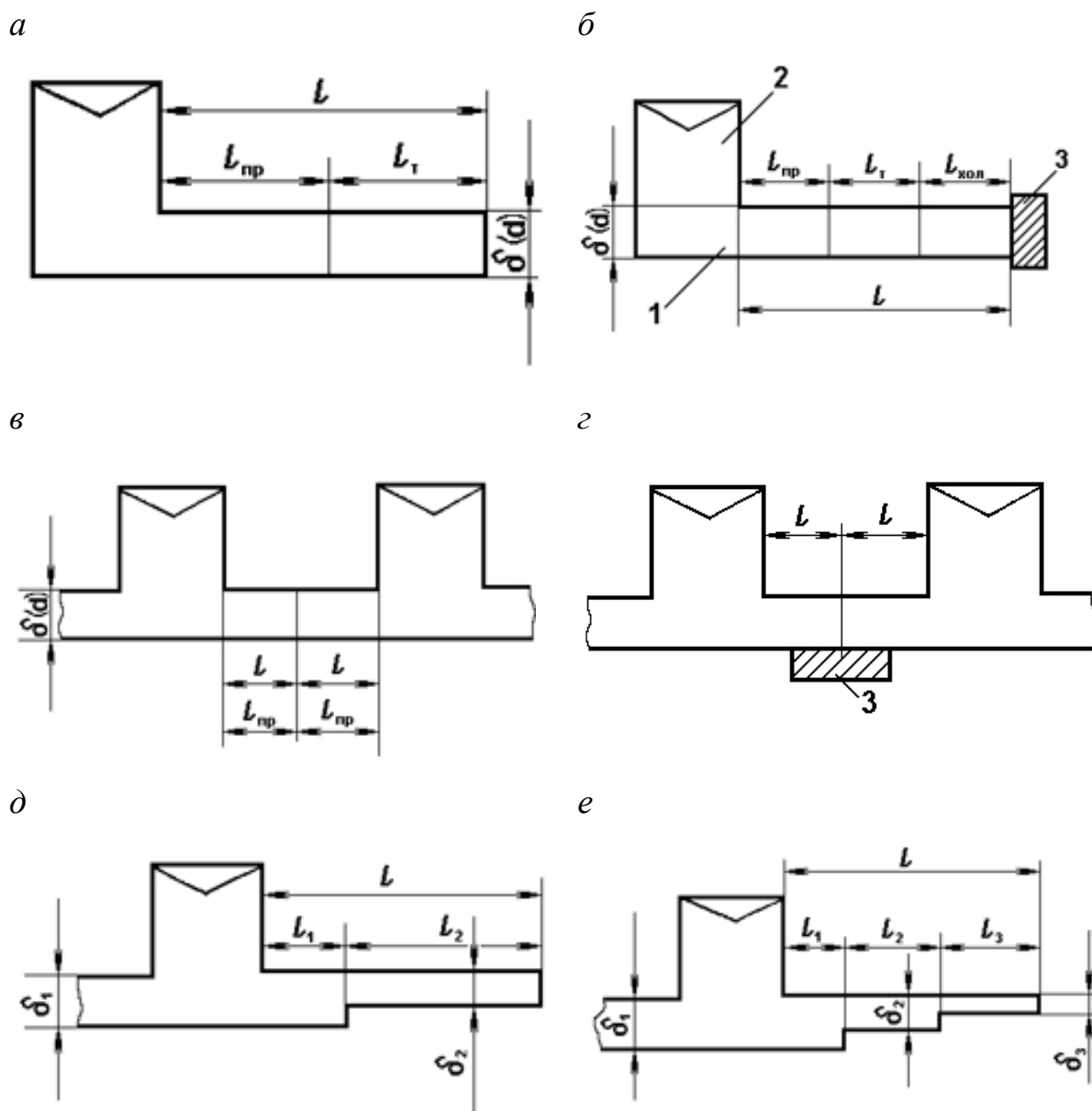


Рис. 2.14. Схема расположения прибылей:
а–е – примеры расположения прибылей на отливках;
1 – отливка; 2 – прибыль; 3 – холодильник

Определив протяженность зон действия всех прибылей, установленных по периметру отливки, можно уточнить, правильно ли выбрано их количество. Расстояние между прибылями не должно превышать сумму зон их действия.

Таблица 2.6

Протяженность зон действия прибылей

Схема прибыли на рис. 2.14	Заливаемый сплав							
	Алюминие- вые латуни	Оловянные бронзы	Сплавы Al – Si	Силумины	Серый чугун	Сталь		
а	$l = 4,5\delta$	$l = 3,5\delta$	Плита					
			$l = 6,5\delta$ $l_{\text{пр}} = 3\delta$ $l_{\text{т}} = 3,5\delta$	$l = 8\delta$	$l = 4,5\delta$	$l = 4,5\delta$ $l_{\text{пр}} = 2,5\delta$ $l_{\text{т}} = 2,0\delta$		
б	$l = 5\delta$	$l = 3,5\delta + 50 \text{ мм}$	—	—	Брус			
					$l = 60\sqrt{d}$	$l = 68\sqrt{d}$	$l = 30\sqrt{d}$	$l = 35\sqrt{d}$
					Плита			
в	$l = 2\delta$	$l = 1,5\delta$	$l = 3\delta$	$l = 4\delta$	Плита			
					$l = 4,5\delta + 50 \text{ мм}$	$l = 5\delta$		
					Брус			
г	$l = 5\delta$	$l = 2\delta$	—	—	Плита			
					$l = 4,5\delta + 50 \text{ мм}$	$l = 5,5\delta$		
					Брус			
д	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
е	$l = 1,5d$	$l = 3\delta$	—	—	Плита			
					$l = 4,5\delta + 50 \text{ мм}$	$l = 5,5\delta$		
					Брус			
ж	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
з	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
и	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
к	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
л	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
м	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
н	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
о	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
п	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
р	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
с	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
т	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
у	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
ф	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
х	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
ц	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
ч	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
ш	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
щ	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
ъ	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
ы	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
ь	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
э	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
ю	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			
я	$l = 30\sqrt{d} + d$	$l = 30\sqrt{d}$	—	—	Плита			
					$l = 2\delta$	$l = 2,5\delta$		
					Брус			

2.2.3. Определение количества прибылей

Если в отливке имеется несколько массивных узлов, то для питания каждого из них должна быть предусмотрена прибыль. Количество прибылей для протяженных отливок длиной l_0 с равномерной толщиной стенок без отдельных массивов и утолщений в соответствии со схемами, приведенными на рис. 2.14, а и 2.14, в, определяется по формуле

$$n = \frac{l_0 + 2 \cdot (l_{\text{пр}} - l)}{B + 2l_{\text{пр}}},$$

где $l_{\text{пр}}$ – протяженность зоны действия прибыли;
 l – протяженность зоны действия прибыли в торцевой части отливки;
 B – ширина нижнего основания прибыли.

Полученное расчетное значение количества прибылей n округляется до целого числа в сторону увеличения.

Количество прибылей, располагаемых на ободе отливок типа зубчатых колес (см. рис. 2.10), принимается равным количеству спиц или рассчитывается по формуле

$$n = \frac{l_0}{B + 2l_{\text{пр}}}. \quad (2.4)$$

2.3. Расчет прибылей

При расчете определяют размеры прибылей в зависимости от их конструктивного оформления. При определении размеров прибыли необходимо соблюдать следующие требования:

1. Продолжительность затвердевания прибыли должна быть больше продолжительности затвердевания отливки.

2. Прибыль должна иметь запас жидкого металла для компенсации объемной усадки питаемого узла отливки и самой прибыли. Это условие можно описать уравнением

$$\beta \cdot V_{\text{пр}} = \varepsilon_{v\Sigma} (V_{\text{п.у}} + V_{\text{пр}}), \quad (2.5)$$

где $V_{\text{пр}}$ и $V_{\text{п.у}}$ – объемы прибыли и питаемого узла отливки;
 β – коэффициент экономичности прибыли, равный отношению объема усадочной раковины $V_{\text{ус.р}}$ к объему сплава в прибыли, $\beta = \frac{V_{\text{ус.р.}}}{V_{\text{пр}}}$,
 $\varepsilon_{v\Sigma}$ – суммарная относительная объемная усадка сплава.

Очевидно, что разность $V = V_{\text{пр}} - V_{\text{ус.р}}$ представляет собой объем сплава, затвердевшего на стенках прибыли. В некоторых методах расчета, например в методе В. А. Денисова [3], вместо (2.5) применяют следующее уравнение:

$$V_{\text{пр}} = V + \frac{\varepsilon_{\text{в}\Sigma}}{m} (V + V_{\text{п.у}}), \quad (2.6)$$

где m – доля жидкого сплава в конце затвердевания отливки, которая может пойти на ее питание ($m = 0,2 - 1$).

Здесь учитывается то, что отливка должна затвердеть до начала фильтрации металла в центральной части прибыли.

Коэффициент экономичности прибыли β зависит от формы прибыли, теплофизических условий ее работы и характера затвердевания сплава.

3. Высота прибыли должна обеспечивать концентрацию усадочной раковины только в прибыли.

4. В результате расчета должны быть получены минимально необходимые, но достаточные размеры и объем прибыли.

В литературе предложено много методов расчета прибылей. Среди них можно выделить эмпирические методы, основанные на анализе экспериментальных и производственных данных [12–17], и аналитические [2, 3, 5, 6, 8–10], полученные на основании исследования упрощенных математических моделей питания отливки с экспериментальной оценкой некоторых параметров.

Дать описание всех методов невозможно, поэтому ниже будут рассмотрены часто используемые в настоящее время, а также наиболее надежные и обоснованные, на наш взгляд, методы. На многих предприятиях применяются собственные инженерные методы расчета прибылей, чаще всего представленные в виде номограмм и таблиц [13–16]. В данном учебном пособии эти методы не рассматриваются. С ними можно познакомиться на производственных практиках, а также с помощью справочной литературы.

2.3.1. Метод Й. Пржибыла

В основу метода положено уравнение (2.5). Решая его относительно объема прибыли, получаем следующую формулу:

$$V_{\text{пр}} = \frac{V_{\text{п.у}} \cdot \varepsilon_{\text{в}\Sigma}}{\beta - \varepsilon_{\text{в}\Sigma}}. \quad (2.7)$$

Суммарная относительная объемная усадка сплавов зависит от температуры заливки. Ее значения при выполнении расчетов можно определять по следующим зависимостям:

- 1) для среднеуглеродистых сталей $\varepsilon_{V_{\Sigma}} = 0,03 + 0,00016\Delta T$;
- 2) высокомарганцовистой стали 110Г13Л $\varepsilon_{V_{\Sigma}} = 0,06 + 0,0002\Delta T$;
- 3) ковкого чугуна $\varepsilon_{V_{\Sigma}} = 0,025 + 0,0001\Delta T$;
- 4) сплава АК12 $\varepsilon_{V_{\Sigma}} = 0,036 + 0,00075\Delta T / T_{\text{л}}$;
- 5) сплава АК7ч $\varepsilon_{V_{\Sigma}} = 0,039 + 0,0008\Delta T / T_{\text{л}}$;
- 6) латуней: ЛЦ40С1 $\varepsilon_{V_{\Sigma}} = 0,065$; ЛЦ17К3 $\varepsilon_{V_{\Sigma}} = 0,061$;
- 7) алюминиевых бронз $\varepsilon_{V_{\Sigma}} = 0,08$;
- 8) алюминиевых латуней $\varepsilon_{V_{\Sigma}} = 0,09$;
- 9) магниевых сплавов (МЛ5) $\varepsilon_{V_{\Sigma}} = 0,075$.

Здесь ΔT – перегрев сплава над температурой ликвидуса $T_{\text{л}}$.

Для отливок из стали и высокопрочного чугуна коэффициент β можно принять равным:

- 0,08–0,09 для закрытых прибылей;
- 0,10–0,11 для открытых прибылей;
- 0,11–0,13 для теплоизолированных прибылей;
- 0,14–0,17 для обогреваемых прибылей;
- 0,13–0,14 для прибылей с повышенным газовым давлением.

Для отливок из медных сплавов $\beta = 0,1$ для закрытых прибылей; $\beta = 0,14$ –0,18 для прибылей с повышенным газовым давлением; $\beta = 0,2$ для экзотермических прибылей.

Для алюминиевых сплавов значение β можно выбирать в пределах от 0,13 до 0,30. Меньшие значения относятся к закрытым прибылям, большие – к экзотермическим прибылям.

Последовательность расчета прибылей по методу Й. Пржибыла сводится к следующему:

- 1) выделить в отливке все узлы питания и рассчитать объем каждого из них ($V_{\text{п.у}}$);
- 2) выбрать тип и конфигурацию прибылей для каждого узла питания;
- 3) в зависимости от принятой конструкции прибыли и условий ее охлаждения выбрать значение коэффициента β ;
- 4) рассчитать по формуле (2.7) объем прибыли;

5) определить размеры нижнего сечения прибыли, учитывая, что отношение диаметра прибыли $D_{\text{пр}}$ к диаметру питаемого узла $D_{\text{п.у}}$ должно быть равно 1,15–1,20. При этом для некруглых сечений питаемого узла и прибыли $D_{\text{п.у}}$ и $D_{\text{пр}}$ соответствуют диаметрам вписанных в них окружностей.

С учетом найденных значений $S_{\text{пр}}$ (среднее значение площади поперечного сечения прибыли) и $V_{\text{пр}}$ находят высоту прибыли $H_{\text{пр}} = V_{\text{пр}} / S_{\text{пр}}$. Высоту прибыли по заданному ее объему можно определить с учетом принятой конфигурации прибыли по соответствующим геометрическим формулам.

Например, объем прибыли, приведенной на рис. 2.12, в, равен (уклоном боковой поверхности пренебрегаем)

$$V_{\text{пр}} = \frac{2}{3}\pi \cdot R_{\text{пр}}^3 + \pi \cdot R_{\text{пр}}^2 \cdot H_{\text{пр}}; R_{\text{пр}} = (1,15 \div 1,2) \cdot R_{\text{отл.}}$$

С учетом этого

$$H_{\text{пр}} = \frac{V_{\text{пр}} - \frac{2}{3}\pi \cdot R_{\text{отл.}}^3 (1,15 \div 1,2)^3}{\pi \cdot R_{\text{отл.}}^2 (1,15 \div 1,2)^2}.$$

Для полного выведения усадочной раковины в прибыль необходимо соблюдение условия $H_{\text{пр}} / D_{\text{пр}} > K$, где K – коэффициент, равный 1,7–2,0 для открытых прибылей на стальных отливках; 1,25–1,50 для закрытых прибылей на стальных отливках. Для отливок из цветных сплавов можно условно принять $H_{\text{пр}} / D_{\text{пр}} > (1,25–1,50)$.

Пример

Выполним расчет прибылей для отливки (см. рис. 2.10), устанавливаемых на ободе. Отливка представляет собой зубчатое колесо. Высота обода равна $H_{\text{об}} = 175$ мм, толщина диска равна $\delta = 30$ мм. Средний наружный диаметр обода $D_{\text{н}} = 725$ мм, средний внутренний диаметр обода $D_{\text{в}} = 636$ мм, средний диаметр ступицы $D_{\text{с}} = 200$ мм.

Вычислим объем обода:

$$V_{\text{об}} = \frac{3,14 \cdot (72,5^2 - 63,6^2)}{4} \cdot 17,5 = 16640 \text{ см}^3.$$

Объем диска равен

$$V_{\text{д}} = \frac{3,14 \cdot (63,6^2 - 20^2)}{4} \cdot 3 = 8584 \text{ см}^3.$$

Примем, что из прибылей обода будет питаться половина этого объема, вторая половина объема диска питается из прибыли, установленной над ступицей. С учетом этого объем питаемого узла равен

$$V_{п.у} = 16640 + 8584 / 2 = 20932 \text{ см}^3.$$

Принимаем коническую открытую прибыль, для которой $\beta = 0,1$. Относительная объемная усадка стали при ее перегреве при заливке $\Delta T = 60^\circ\text{C}$ равна $\varepsilon_V = 0,03 + 0,00016 \cdot 60 = 0,04$. По формуле (2.6) находим объем прибылей:

$$V_{пр} = \frac{20932 \cdot 0,04}{0,1 - 0,04} = 13935 \text{ см}^3.$$

Диаметр вписанной в верхнее сечение питаемого узла окружности равен

$$D_{п.у} = \frac{725 - 636}{2} = 44,5 \text{ мм};$$

$$D_{пр} = 1,2D_{п.у} = 53,4 \text{ мм}.$$

Примем условно призматическую конфигурацию прибыли (рис. 2.12, з). Фактическая конфигурация прибылей приведена на рис. 2.10. Средний периметр обода равен $l_0 = 3,14 \cdot \frac{72,5 - 63,6}{2} = 214 \text{ см}$. Протяженность зоны действия прибыли составляет $l_{пр} = 1,5 \cdot D_{п.у} = 6,7 \text{ см}$. Площадь нижнего основания прибыли равна $5,34 B$, где B – ширина одной прибыли, см. Если на ободу установлено n прибылей, то можно написать балансное уравнение $H_{пр} \cdot 5,34 \cdot B \cdot n = 13935$. При выборе числа прибылей необходимо учитывать уравнение (2.4). Если принять 2 прибыли, т. е. $n = 2$, то из этого уравнения находим значение ширины питателя: $B = \frac{214}{2} - 2 \cdot 13,4 = 96,3 \text{ см}$. С учетом данного значения из приведенного выше балансного уравнения находим значение высоты прибыли:

$$H_{пр} = \frac{13935}{93,6 \cdot 5,34 \cdot 2} = 14 \text{ см}.$$

Полученное значение высоты прибыли превышает рекомендованное значение $H_{\text{пр}} = 2D_{\text{пр}} = 10,7$ см и обеспечивает выведение усадочной раковины в прибыль.

2.3.2. Упрощенный метод УЗТМ

Ориентировочно размеры прибылей стальных отливок с отношением максимальной толщины стенки к минимальной не более $1,5 \div 2,0$ можно определить по формулам, разработанным на Уральском заводе тяжелого машиностроения (УЗТМ):

$$D_{\text{пр}} = (0,40 \div 0,45) \cdot \sqrt[3]{V_{\text{ж}}} + T,$$

$$H_{\text{пр}} = (1,05 \div 1,10) \cdot D_{\text{пр}},$$

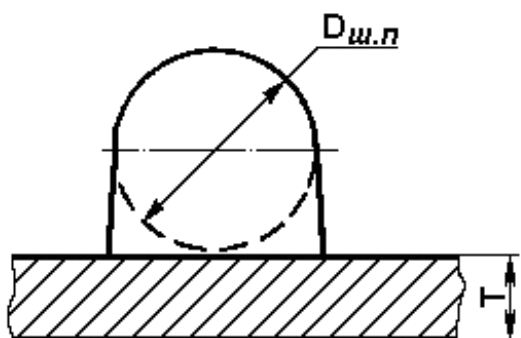
где $D_{\text{пр}}$ – диаметр шаровой прибыли или диаметр окружности, вписанной в вертикальное сечение конической прибыли, дм (рис. 2.15);

$V_{\text{ж}}$ – объем жидкого металла, необходимого для изготовления отливки вместе с прибылями, дм³;

T – толщина стенки отливки, дм;

$H_{\text{пр}}$ – высота прибыли, дм.

a



б

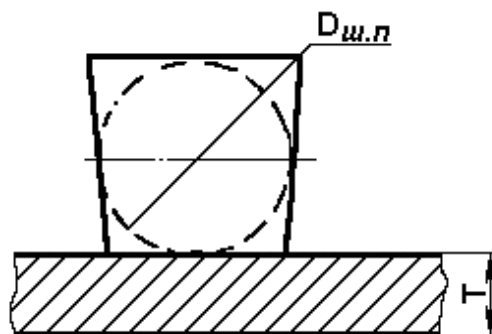


Рис. 2.15. Схема к расчету прибыли:

a – шаровой; *б* – конической

Объем жидкого металла $V_{\text{ж}}$ определяется по формуле

$$V_{\text{ж}} = \frac{100 \cdot M}{7 \cdot \eta},$$

где M – масса питаемого узла, кг;

η – выход годного, % ($\eta = 70 \div 80$).

Для отливок, имеющих массивный узел питания и ответвления от него, размеры прибылей определяются по формулам Ю. А. Нехендзи и Ф. Д. Оболенцева:

$$D_{\text{пр}} = d + K \cdot \sqrt[3]{Q_{\text{ж}}},$$

$$H_{\text{пр}} = (1 \div 1,15) \cdot D_{\text{пр}},$$

где $Q_{\text{ж}}$ – масса питаемого узла, кг;
 $D_{\text{пр}}$ – диаметр прибыли, дм;
 K – коэффициент, зависящий от конструкции и массы узла (для концентрированного узла $K = 0,1$; для разветвленного узла $K = 0,2$);
 $H_{\text{пр}}$ – высота прибыли, дм;
 d – диаметр окружности, вписанной в питаемый узел, дм (рис. 2.16).

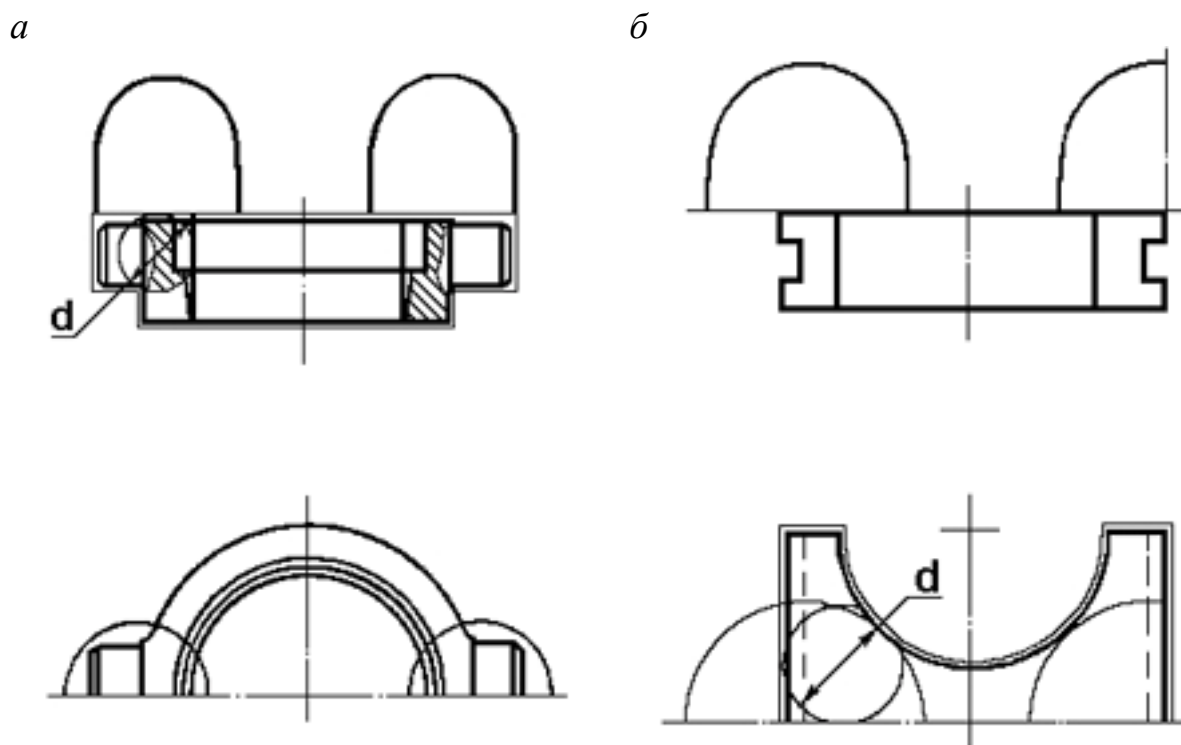


Рис. 2.16. Схемы установки прибылей на узлах отливки:

а – разветвленном; *б* – концентрированном

2.3.3. Расчет боковых прибылей и питающих элементов в литниковых системах

При получении чугунных отливок в качестве элементов питания используются выпоры, питающие бобышки и прибыли.

Питающие *выпоры* (рис. 2.17) применяются для обеспечения питания отдельных термических узлов отливки. Целесообразно использовать отводные выпоры. Размеры прямых питающих выпоров приведены в табл. 2.7.

Питающие *бобышки* применяются при получении отливок из ковкого чугуна, а также отливок с массивными узлами из серого модифицированного чугуна. Они подводятся в наиболее массивные узлы отливок и соединяются с ними через короткие шейки (рис. 2.18).

Размеры бобышек при производстве отливок из ковкого чугуна можно определить по диаграмме, приведенной на рис. 2.19. Площадь шейки определяют по табл. 2.8. Схемы расположения питающих бобышек для отливок из серого чугуна показаны на рис. 2.20. Размеры бобышек для этих отливок можно определить по табл. 2.9, разработанной на заводе «Станколит».

Объем *боковых прибылей* для отливок из стали и цветных сплавов определяют по формуле Й. Пржибыла.

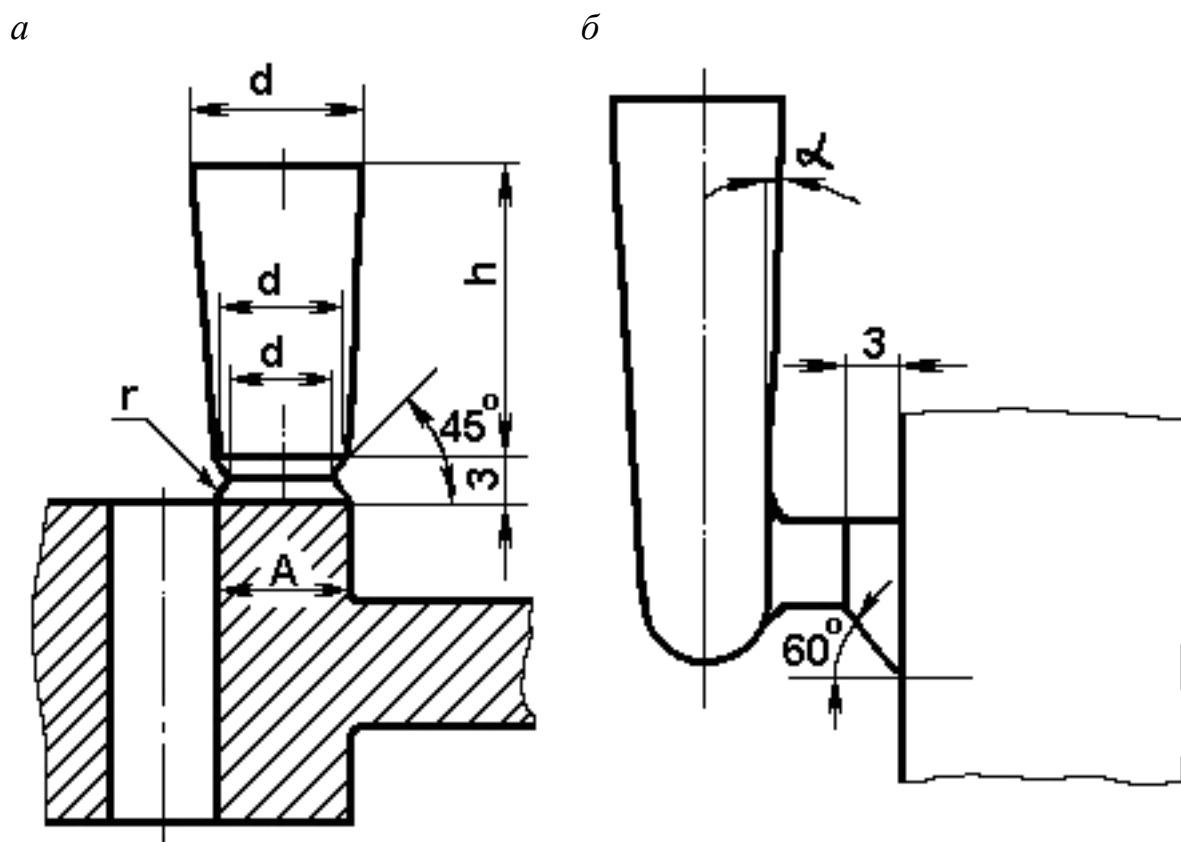


Рис. 2.17. Конструкции питающих выпоров ($\alpha = 10\text{--}30^\circ$):

a – прямого; *б* – отводного

Таблица 2.7

Размеры прямых питающих выпоров для чугунных отливок, мм

Толщина тела отливки в месте сопряжения с питающим выпором A	Размеры питающего выпора				
	d	d_1	d_2	h , не менее	r
20–25	25	25	30	60	2
50–55	50	60	80	130	3
75–80	75	90	120	200	4
100–195	100	120	170	250	5
125–130	125	150	200	300	5
150–155	150	180	240	400	5
175–180	175	210	280	450	6
299–205	200	235	320	500	6

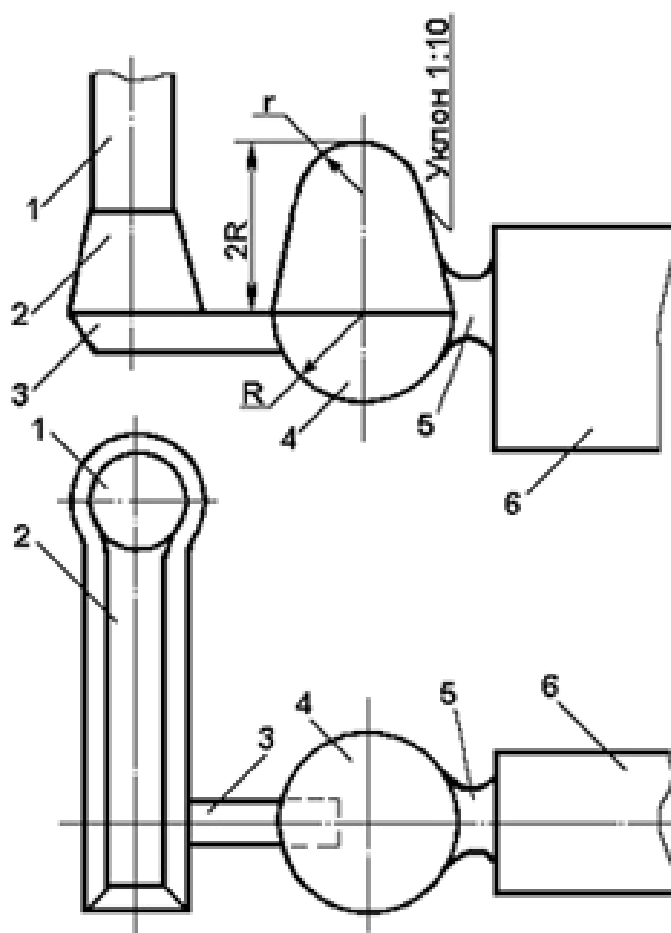


Рис. 2.18. Питающие бобышки для отливок из ковкого чугуна:

1 – стояк; 2 – шлакоуловитель; 3 – питатель; 4 – бобышка; 5 – шейка;
6 – отливка

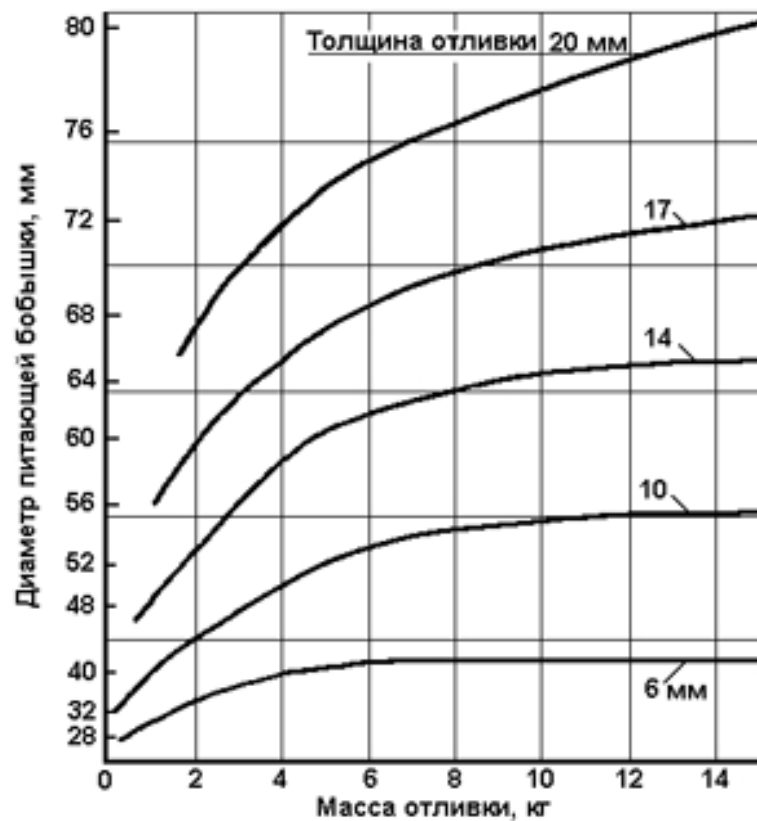


Рис. 2.19. Диаграмма для определения размеров бобышек при производстве отливок из ковкого чугуна

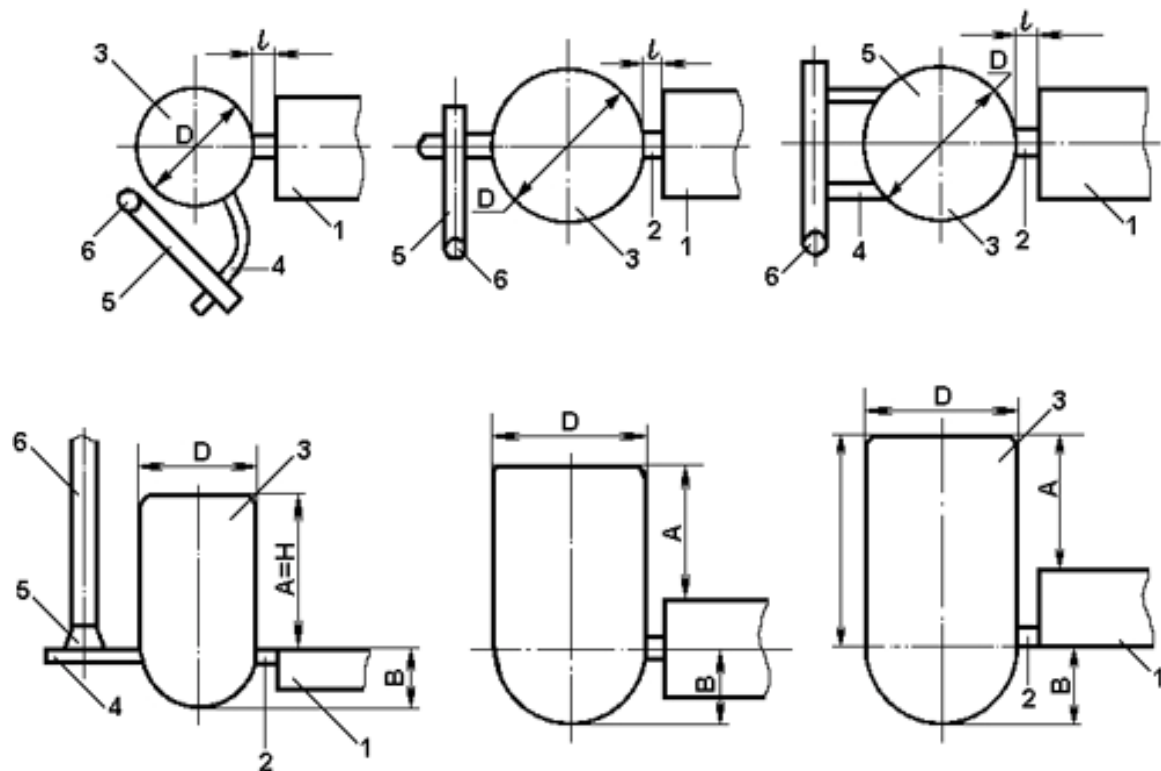


Рис. 2.20. Питающие бобышки для отливок из серого чугуна:
 1 – отливка; 2 – литниковый канал; 3 – бобышка; 4 – питатель; 5 – шлакоуловитель; 6 – стояк

На рис. 2.21 приведена схема расположения боковых питающих прибылей при изготовлении картера главной передачи автомобиля из чугуна с шаровидным графитом.

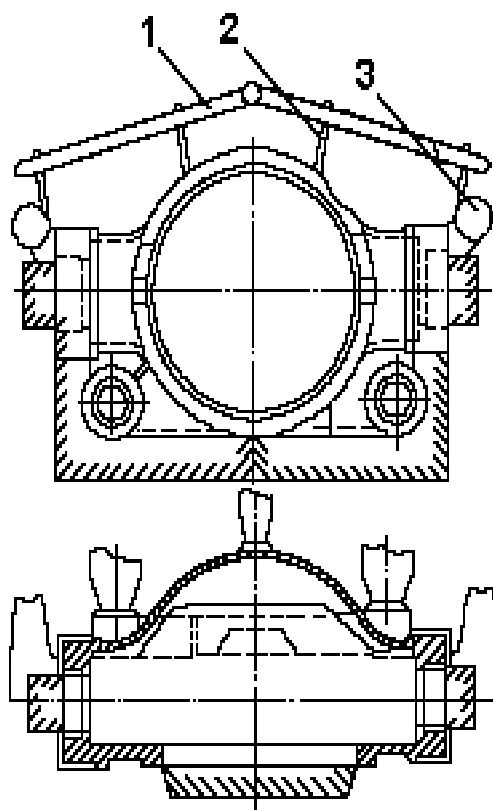


Рис. 2.21. Схема расположения прибылей при получении отливки
«Картер главной передачи»:

1 – шлакоуловитель сечением $30 \times 25 \times 40$ мм; 2 – питатель сечением 20×10 мм;
3 – прибыль

Таблица 2.8

Значения площади шейки бобышек при изготовлении отливок
из ковкого чугуна

Показатель	Значения показателя								
Радиус основания бобышки R , мм	15,0	18,0	20,0	22,0	24,0	25,0	26,0	27,0	30,0
Площадь сечения шейки, см^2	1,5	2,4	3,3	4,2	4,8	5,6	6,0	6,4	7,2

Таблица 2.9

Размеры питающих бобышек для отливок из серого чугуна

Масса отливки, кг	Площадь сечения бобышки		Глубина нижней части бобышки B , мм	Отношение высоты верхней части бобышки к ее диаметру H/D	Литниковый канал	
	Отношение площадей сечений бобышки и питаемого участка отливки	Диаметр бобышки, мм			Длина, мм, не более	Площадь сечения, см^2
До 15	1,0–1,2	50	50	1,5–2,0	15–20	3
		60	60			
		70	70			
16–60	0,9–1,1	60	60	1,3–1,8	15–20	5
		80	70			
		100	80			
61–300	0,7–0,9	80	70	1,1–1,6	20–25	12
		100	80			
		120	90			
301–1500	0,6–0,8	100	80	1,0–1,4	25–30	20
		130	95			
		160	110			
Св. 1500	0,5–0,7	150	110	0,9–1,2	30–35	30
		200	130			
		250	150			

2.4. Специальные конструкции прибылей

Для повышения коэффициента экономичности прибылей β и уменьшения трудоемкости их удаления с отливок применяют теплоизоляцию и обогрев прибылей, повышают давление на расплав в прибыли, устанавливают перемычки между прибылью и питаемым узлом отливки и т. д.

2.4.1. Применение теплоизоляции и обогрева прибылей

Применяя теплоизоляцию прибылей, можно повысить коэффициент их экономичности β за счет уменьшения объема сплава в прибыли к концу затвердевания отливки.

На рис. 2.22 приведены схемы, иллюстрирующие способы утепления прибылей. В качестве теплоизоляционных материалов применяют пористые вещества: керамические изделия, асбест, легковесный шамот, гипс, формовочную смесь с добавлением опилок, древесного угля и древесной муки. Толщину облицовки определяют по формуле

$$\delta_{\text{обл}} = 0,2 \cdot D_{\text{пр}}.$$

При литье в песчаные формы прибыли обкладывают теплоизоляционным материалом при формовке (рис. 2.22, а) или в прибыльную часть формы вставляют оболочки, изготовленные из теплоизоляционных материалов (рис. 2.22, б). Оболочки изготовляют в стержневых ящиках и подвергают тепловой сушке. Для изготовления оболочек можно применять, например, смесь следующего состава: 100 % кварцевого песка, 5–6 % терморезактивной смолы, 0,35–0,6 % уротропина, 0,15 % борной кислоты. Толщина оболочки обычно равна 8–12 мм. Расчет прибыли можно осуществлять по методу Й. Пржибыла при увеличении значения коэффициента β на 0,01–0,02.

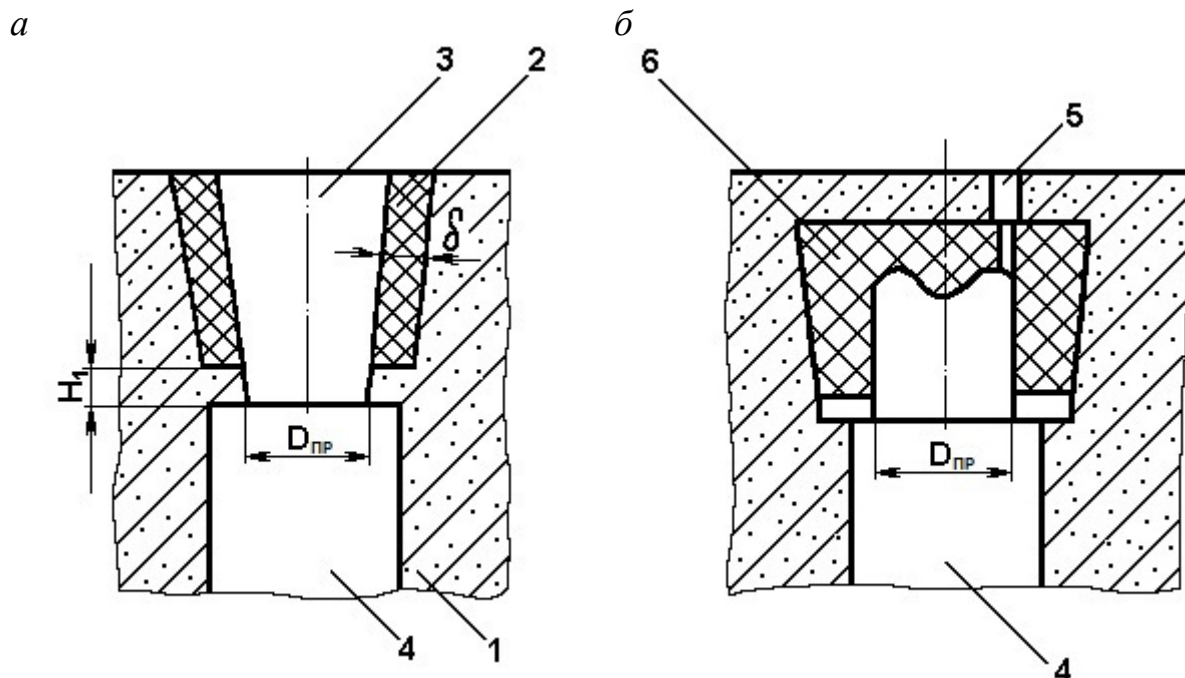


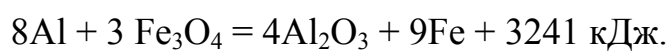
Рис. 2.22. Способы утепления прибылей ($h = 0,1D_{\text{пр}}$):

1 – песчаная форма; 2 – облицовка из теплоизоляционной смеси; 3 – прибыль;
4 – отливка; 5 – выпор; 6 – оболочка из теплоизоляционной смеси

Наиболее эффективно применение обогрева прибылей. Чаще всего его осуществляют, используя для оформления прибылей экзотермические смеси. Основные требования к экзотермическим смесям:

- низкая температура воспламенения;
- стабильное горение смеси с наибольшей скоростью;
- увеличение продолжительности затвердевания прибыли не менее чем в два раза;
- отсутствие химического взаимодействия с расплавом;
- хорошая формуемость и высокая прочность;
- высокая газопроницаемость;
- недефицитность компонентов смеси;
- обеспечение экологической чистоты.

Любая экзотермическая смесь состоит из горючего, окислителя, основы, ускорителя воспламенения, замедлителя горения и связующего. Теплота выделяется в результате окисления горючего (алюминиевый порошок) кислородом оксида железа (окалина) по алюмотермической реакции



Алюминий используется в виде порошка или стружки с частицами размером 0,6–1,5 мм. Окислителем является гематитовая железная руда с содержанием оксидов железа не менее 80 % или окалина. Размер фракции руды или окалина должен быть не более 1 мм. Наполнителем экзотермической смеси при литье любых сплавов служит шамотная крошка, зерна которой имеют размеры 0,5–5 мм (или кварцевый песок при литье алюминиевых сплавов).

Ускорителем (катализатором) воспламенения является калиевая селитра, а замедлителем (регулятором) горения служат шамот, огнеупорная глина, гипс. Горение в экзотермической смеси должно идти спокойно, не вызывая выплесков и кипения расплава в прибыли.

В качестве связующего применяют формовочную глину, жидкое стекло, сульфитно-спиртовую барду и др. Примеры составов экзотермических смесей для прибылей приведены в табл. 2.10. Смесей 1–3 используют для литья стали, чугуна и сплавов тяжелых цветных металлов, смеси 4–5 – для литья легких сплавов.

Экзотермические смеси применяют чаще всего в виде специальных оболочек (стаканов, втулок), изготавливаемых в стержневых ящиках. На рис. 2.23 приведена схема конструкции оболочки для круглой прибыли. На многих предприятиях имеются нормали на экзотермические оболочки (табл. 2.11).

Расчет экзотермических прибылей сводится к определению номера нормализованной экзотермической оболочки для оформления прибыли. Массу прибыли находят по специально разработанным номограммам. Принципиально ее можно определить, если рассчитать объем прибыли по формуле Й. Прибыль, приняв $\beta = 0,2-0,25$.

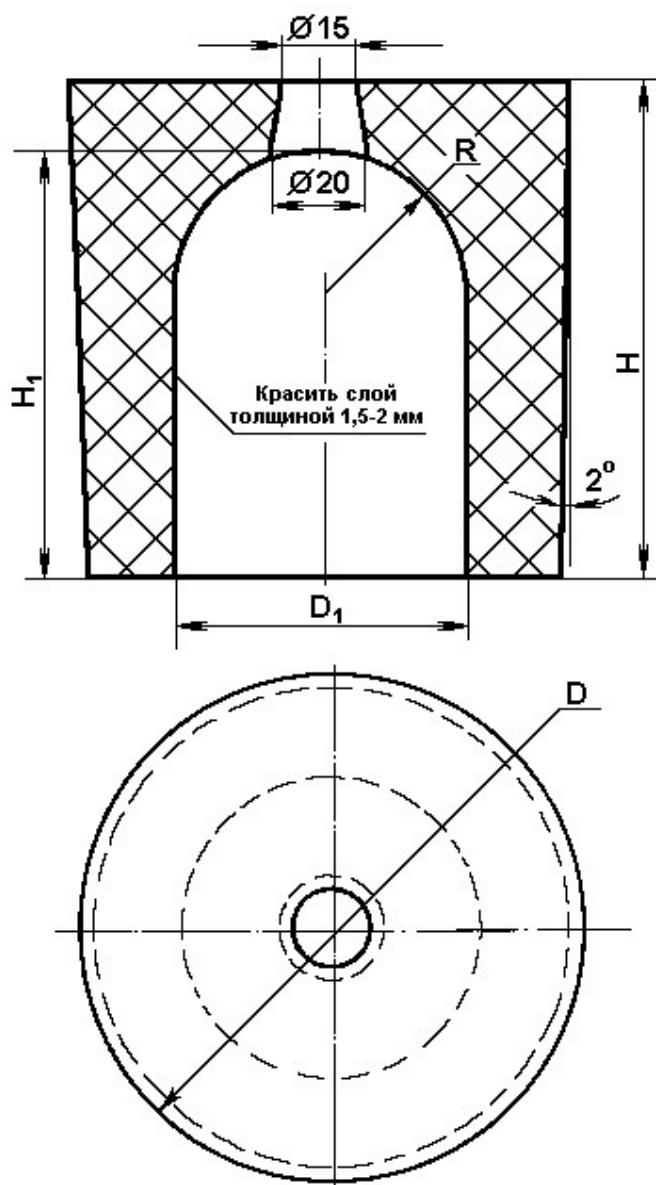


Рис. 2.23. Экзотермическая оболочка для круглой прибыли

Таблица 2.10

Экзотермические смеси для облицовки прибылей

Номер смеси	Состав, % (массовая доля)							
	Алюминиево-магний-сплав	Железная руда (окалина)	Калиевая селитра	Шамот	Огнеупорная глина	Строительный гипс	Древесный уголь	Древесные опилки
1	18	18	15	27	8	10	4	–
2	15	14	13	31	10	12	5	–
3	15	15	30	5	4	20	6	2
4	14	15	1	35	6	15	10	1
5	13	10	1	35	10	15	12	1

Таблица 2.11

Нормаль на экзотермические оболочки для круглых прибылей

Номер прибыли	Масса прибыли, кг	Размеры прибыли, мм				
		D	H	D_1	H_1	R
1	4,4	125	125	90	115	40
2	5,8	140	130	100	120	45
3	8,2	170	150	115	135	50
4	12,5	195	175	135	155	60
5	21,0	225	205	160	180	70
6	36,0	260	240	190	210	85
7	57,0	300	280	225	245	100
8	70,0	320	300	235	260	105
9	95,0	365	340	260	285	120
10	130,0	390	380	285	330	130
11	165,0	410	430	300	375	135
12	210,0	420	480	310	420	140

2.4.2. Прибыли, работающие под высоким газовым давлением

Выше было сказано о влиянии перепада давлений, действующего на кристаллизирующийся расплав, на повышение эффективности работы прибылей и их экономичность. П. И. Ямшановым были предложены прибыли с повышенным газовым давлением, создаваемым диссоциацией мела, карбоната магния или цинка при высоких температурах:



Определенная масса данных веществ помещается в специальный патрон (рис. 2.24), который устанавливается внутри закрытой прибыли.

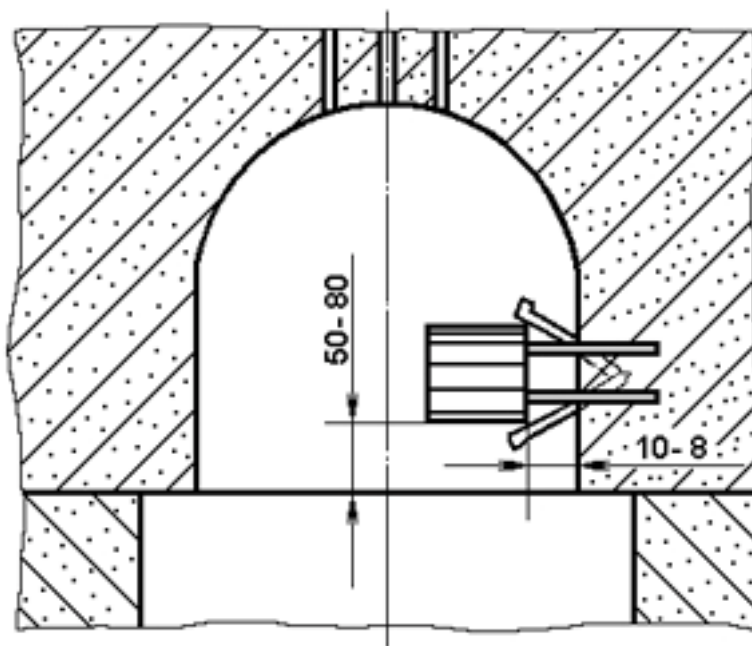


Рис. 2.24. Расположение газового патрона в прибыли

Оболочки и крышки патронов изготавливают уплотнением в металлических ящиках смесей, состоящих из глины, молотого шамота и древесных опилок, добавляемых для повышения газопроницаемости оболочки. Оболочки сушат при 100–110 °С и обжигают при 350 °С. Главное требование, предъ-

являемое к качеству оболочки, сводится к тому, что ее толщина должна обеспечивать прогрев помещенного в нее наполнителя до температуры диссоциации не раньше, чем на стенках прибыли вырастет достаточно прочная корка затвердевшего сплава, способная выдержать повышенное давление.

Параметры прибыли, патрона и массу заряда определяют по эмпирическим номограммам. Массу прибыли можно определить по формуле Й. Пржибыла, приняв $\beta = 0,13-0,20$. В зависимости от массы прибыли и создаваемого давления массу мела, помещаемого в патрон, определяют по номограмме (рис. 2.25). Толщину стенки патрона и его размеры определяют также по номограммам.

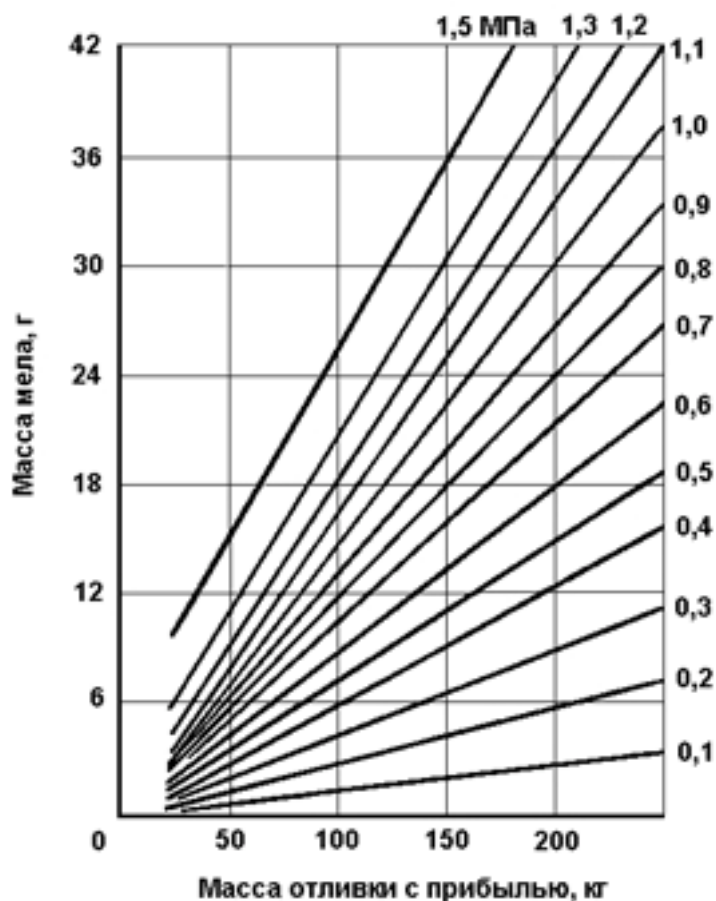


Рис. 2.25. Номограмма для определения массы мелового заряда в зависимости от давления и массы отливки с прибылью

Применение прибылей с повышенным газовым давлением позволяет не только увеличить выход годного, но и существенно снизить пористость отливок.

2.4.3. Легкоотделяемые прибыли

Для снижения трудоемкости отделения прибылей от отливок применяют легкоотделяемые прибыли (рис. 2.26). Между прибылью и питаемым узлом устанавливают перегородку в виде керамической пластины. Важнейшим требованием является совпадение оси отверстия в перегородке с термическими центрами прибыли и отливки. При нарушении этого требования в отливке образуется усадочная раковина. Параметры перегородки и размеры отверстия выбирают таким образом, чтобы перегородка быстро прогревалась до температур, исключающих образование на ее поверхностях затвердевшего металла. Обычно диаметр прибыли определяют по формуле

$$D_{\text{пр}} = d_{\text{вп}} + (0,1 \div 0,2) \cdot \sqrt[3]{Q},$$

где $D_{\text{пр}}$ – диаметр прибыли, мм;

$d_{\text{вп}}$ – диаметр окружности, вписанной в термический узел питаемой отливки, мм;

Q – масса питаемого узла, кг.

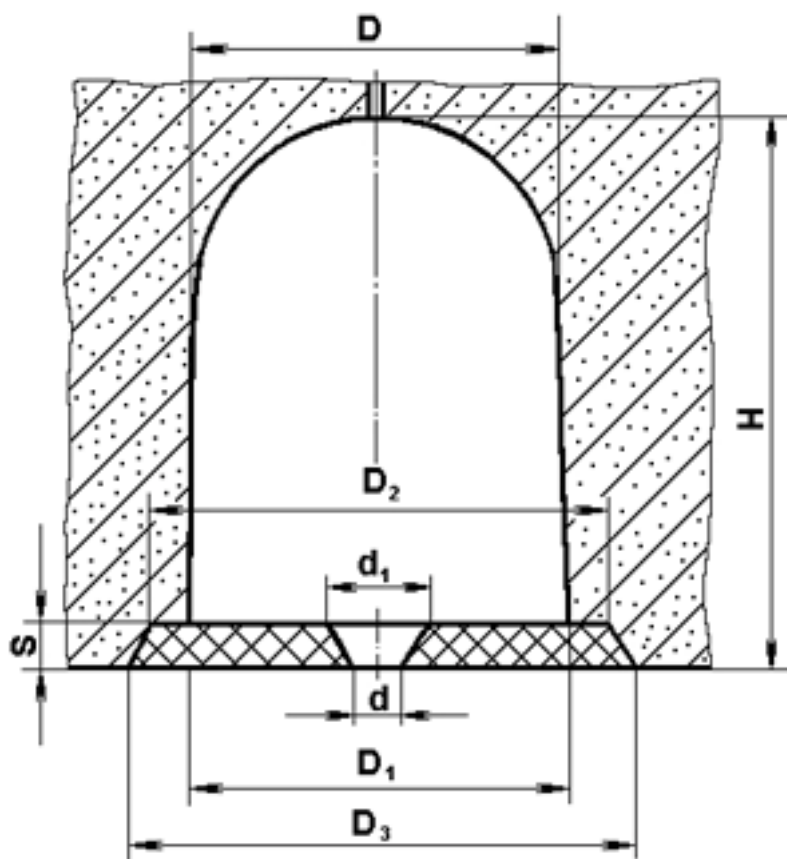


Рис. 2.26. Конструкция легкоотделяемой прибыли

Высоту прибыли принимают равной $(1-1,5) D_{\text{пр}}$. Толщину пластины и диаметр отверстия в ней определяют в зависимости от значения диаметра прибыли по соответствующим таблицам. Параметры разделительной пластины можно определить также по следующим соотношениям:

$$d = 0,4D_{\text{пр}};$$

$$d_1 = 1,2d;$$

$$D_3 = 1,3D_{\text{пр}};$$

$$S = 0,12D_{\text{пр}} + 0,8\sqrt{D_{\text{пр}}}.$$

Разность диаметров $(D_1 - D_2)$ должна обеспечивать уклон 6° .

Контрольные вопросы и задания

1. Каково назначение процесса питания отливок?
2. Сформулируйте условия обеспечения направленного затвердевания отливок.
3. Назовите методы обеспечения направленного затвердевания отливок.
4. Определите узлы питания и постройте технологические напуски для отливок, приведенных на рис. 2.27.
5. В чем состоит сущность метода вписанных окружностей? Проиллюстрируйте его на примере отливок, показанных на рис. 2.27.
6. Определите число узлов питания на отливках, изображенных на рис. 2.27.
7. Что такое внутренние холодильники?
8. Сформулируйте требования к внутренним холодильникам.
9. Выведите и проанализируйте формулу для расчета массы внутренних холодильников.
10. Опишите конструктивные типы внутренних холодильников и способы их установки в форме.
11. Что такое наружные холодильники?
12. Для термических узлов отливок, приведенных на рис. 2.27, определите массу внутренних холодильников, их тип и размеры их элементов.

13. Определите толщину наружных холодильников для термических узлов отливок (см. рис. 2.27).
14. Сформулируйте требования к прибылям.
15. Какие типы прибылей Вы знаете?
16. Что такое зона действия прибыли и как ее рассчитать?
17. Как влияют холодильники на протяженность зоны действия прибылей?
18. Что такое коэффициент экономичности прибыли β ?
19. Как рассчитать количество прибылей для отливки с равномерной толщиной стенки?
20. Назовите способы повышения коэффициента экономичности прибыли.
21. Выведите формулу Й. Пржибыла для расчета объема прибылей.
22. Опишите порядок расчета прибылей по методу Й. Пржибыла.
23. Поясните методику расчета продолжительности затвердевания отливок сложных сечений.
24. В чем состоит особенность питания отливок из ковкого чугуна?
25. В чем заключаются особенности конструкции питающих бобышек и боковых прибылей?
26. Опишите конструкции прибылей с экзотермическими вставками.
27. Поясните метод расчета экзотермических прибылей.
28. Опишите конструкцию прибылей с повышенным газовым давлением.
29. Как выбрать газообразующий материал для прибыли с повышенным газовым давлением?
30. Каким условиям должна удовлетворять толщина стенки газообразующего патрона?
31. Поясните методику расчета прибылей с повышенным газовым давлением.
32. Опишите конструкции и метод расчета легкоотделяемых прибылей.
33. Определите места установки прибылей для отливок, изображенных на рис. 2.27, выберите типы прибылей, установите протяженность зон действия и количество прибылей. Выполните расчет размеров прибылей с обеспечением направленности затвердевания. При необходимости опре-

делите параметры применяемых холодильников. Расчеты выполните по методу Й. Пржибыла. Условия расчетов приведены в табл. 2.12.

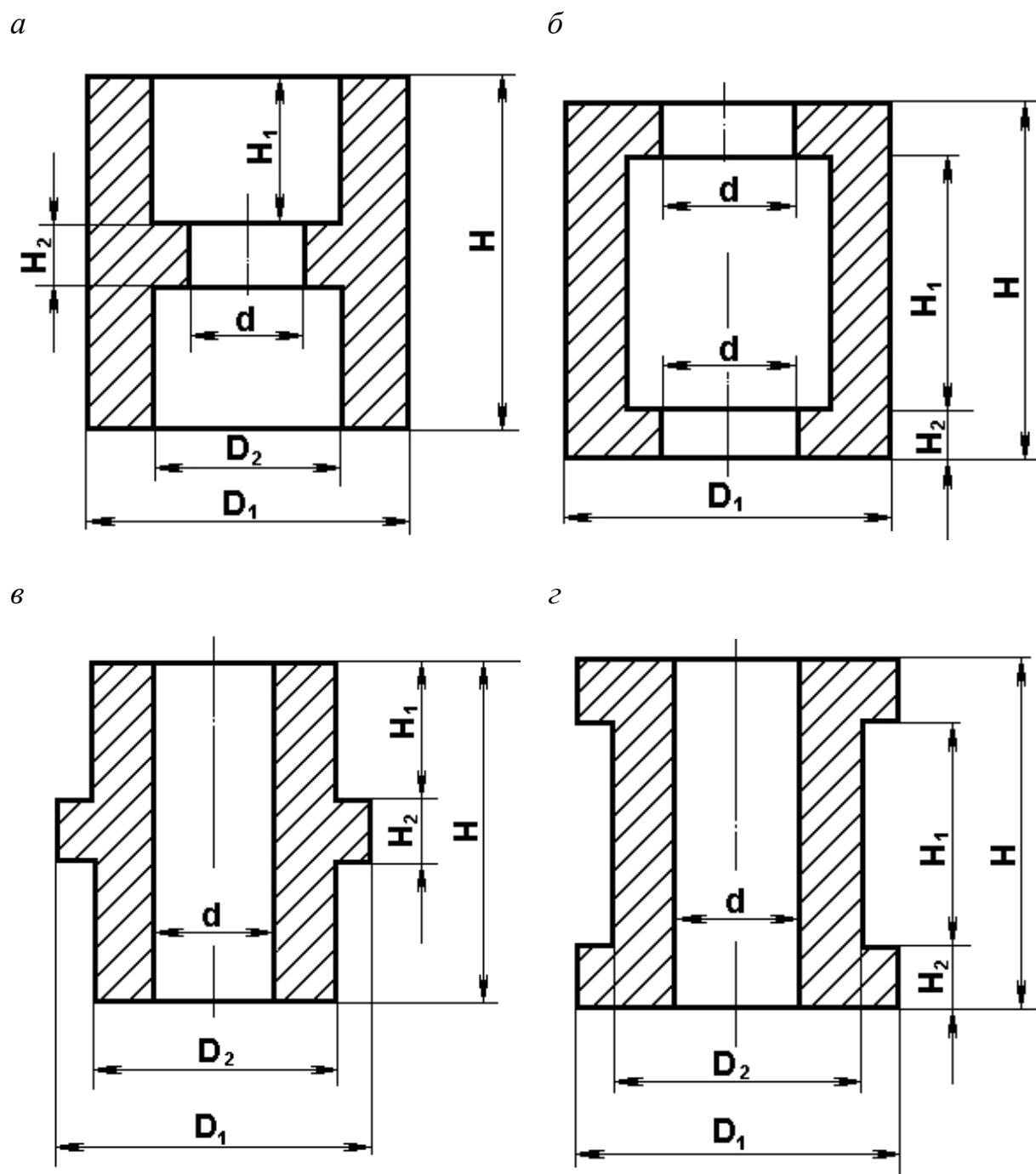


Рис. 2.27. Схемы отливок:

a, в – отливки из углеродистой стали 35Л; *б* – отливка из углеродистой стали 45Л;
г – отливка из алюминиевого сплава АК7ч

Таблица 2.12

Исходные данные

Номер варианта	Схема отливки	$V_{\text{отл}},$ см^3	$\epsilon_{V_{\Sigma}}$	$T_{\text{зал}},$ °C	β	Размеры, см					
						D_1	D_2	d	H	H_1	H_2
1	Рис. 2.27, а (сталь 35Л)	32000	0,045	1650	0,08	40	30	20	50	20	10
2		61200	0,052	1700	0,15	40	20	10	60	20	15
3		43000	0,059	1750	0,20	40	25	15	50	18	12
4		68800	0,045	1650	0,08	60	50	40	70	30	10
5		163200	0,042	1600	0,15	60	40	20	80	30	20
6		126900	0,045	1650	0,20	60	45	30	90	35	15
7	Рис. 2.27, б (сталь 45Л)	32000	0,052	1700	0,15	40	30	20	50	20	10
8		36000	0,045	1650	0,08	40	30	20	50	30	10
9		64800	0,052	1700	0,15	40	20	10	60	25	15
10		47000	0,059	1750	0,20	40	25	15	50	20	12
11		76000	0,045	1650	0,08	60	50	40	70	40	10
12		184600	0,042	1600	0,15	60	40	20	80	35	20
13		140400	0,045	1650	0,20	60	45	30	90	50	15
14		36000	0,059	1750	0,20	40	30	20	50	30	10
15		47000	0,045	1650	0,15	40	25	15	50	20	12
16	Рис. 2.27, в (сталь 35Л)	32500	0,045	1650	0,08	50	40	30	50	20	10
17		62000	0,052	1700	0,15	50	40	20	60	20	15
18		44500	0,059	1750	0,20	50	40	25	50	18	12
19		70000	0,045	1650	0,08	70	60	50	70	30	10
20		16500	0,042	1600	0,15	80	60	40	80	30	20
21		130000	0,045	1650	0,20	75	60	45	90	35	15
22		32500	0,052	1700	0,15	50	40	30	50	20	10
23		37000	0,066	1500	0,08	50	40	30	50	20	10
24	Рис. 2.27, г (сплав АК7ч)	66000	0,071	1550	0,15	50	40	20	60	20	15
25		50000	0,076	1600	0,20	50	40	25	50	18	12
26		80000	0,066	1500	0,08	70	60	50	70	30	10
27		200000	0,071	1550	0,15	80	60	40	80	30	20
28		150000	0,076	1600	0,20	75	60	45	90	35	15
29		38000	0,071	1550	0,08	50	40	20	50	20	15

Заключение

В учебном пособии рассмотрен комплекс вопросов по организации и расчету процессов питания отливок, которые традиционно включаются в программы соответствующих дисциплин в учебных планах подготовки инженеров-литейщиков разных направлений.

Учебное пособие направлено на развитие у студентов навыков и умений в области конструирования и расчета литниковых систем и прибылей для отливок из различных сплавов, на повышение эффективности проведения практических занятий по дисциплине «Технология литейного производства» и выполнения курсового проекта по этой дисциплине.

При изложении материала основное внимание уделено освещению научных основ процессов, происходящих при заполнении форм и формировании отливок, а также современным методам их количественного описания.

Перспективы развития литейного производства связаны с широким внедрением методов прикладной математики и вычислительной техники. На современном этапе идет интенсивная разработка систем автоматизированного проектирования технологии, основанных на математическом моделировании, которые рассмотрены в данном учебном пособии. Теоретические положения при изучении организации заполнения литейных форм металлом и питания отливок должны в ходе учебного процесса закрепляться и конкретизироваться на практических занятиях с использованием прикладных программ. Это относится к расчету и анализу процессов заполнения форм металлом, кинетики затвердевания отливок, процессов питания. Основные подходы к решению этих задач описаны в данном учебном пособии.

Учебное пособие содержит сведения, необходимые для решения технологических вопросов и выполнения расчетов, в тексте приведены соответствующие справочные данные.

Библиографический список

1. *Василевский П. Ф.* Литниковые системы стальных отливок / П. Ф. Василевский. Москва: Машгиз, 1956. 163 с.
2. *Вейник А. И.* Теория затвердевания отливки / А. И. Вейник. Москва: Машгиз, 1960. 435 с.
3. *Денисов В. А.* Расчет прибылей стальных отливок / В. А. Денисов // Теплообмен между отливкой и формой. Минск: Вышэйшая школа, 1967. С. 227–233.
4. *Дубицкий Г. М.* Литниковые системы / Г. М. Дубицкий. Свердловск: Машгиз, 1962. 256 с.
5. *Интяков Н. Г.* Метод расчета прибылей для фасонных отливок / Н. Г. Интяков // Проблемы теплообмена при литье. Минск: Изд-во БПИ, 1960. С. 76–81.
6. *Ипатов Н. К.* Сравнение размеров прибылей по разным методам расчета / Н. К. Ипатов, В. А. Фатеев // Теплофизика в литейном производстве. Минск: Изд-во АН БССР, 1963. С. 64–67.
7. *Матвиенко И. В.* Оборудование литейных цехов / И. В. Матвиенко, В. Л. Тарский. Москва: Машиностроение, 1985. 400 с.
8. *Нехендзи Ю. А.* Стальное литье / Ю. А. Нехендзи. Москва: Металлургиздат, 1948. 766 с.
9. *Попов А. Д.* Расчет прибылей для отливок / А. Д. Попов. Москва: Машгиз, 1957. 55 с.
10. *Пржибыл Й.* Затвердевание и питание отливок / Й. Пржибыл. Москва: Машгиз, 1957. 287 с.
11. *Рабинович Б. В.* Введение в литейную гидравлику / Б. В. Рабинович. Москва: Машиностроение, 1966. 427 с.
12. *Руководство технолога-литейщика* / НТО НИИПТМАШ. Краматорск, 1990. 116 с.
13. *Россиян С. В.* Проектирование технологических процессов литейного производства / С. В. Россиян, И. А. Баранов. Москва: Машгиз, 1951. 245 с.
14. *Рыжиков А. А.* Теоретические основы литейного производства / А. А. Рыжиков. Москва: Машгиз, 1961. 447 с.

15. *Технологические инструкции* ОГМ УЗТМ по стальному литью. СТП П 388–89 / НИИТЯЖмаш. Свердловск, 1989. 19 с.
16. *Технология* литейного производства: учебник / Б. С. Чуркин [и др.]. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2000. 661 с.
17. *Хворинов Н.* Затвердевание отливок / Н. Хворинов. Москва, 1965. 92 с.: ил.
18. *Цветное* литье: справочник / Н. М. Галдин [и др.]. Москва: Машиностроение, 1989. 528 с.
19. *Чуркин Б. С.* Основы литейной гидравлики / Б. С. Чуркин, Э. Б. Гофман / Свердл. инж.-пед. ин-т. Екатеринбург, 1992. 236 с.
20. *Чуркин Б. С.* Теория литейных процессов: учебник. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2006. 453 с.

Учебное издание

Чуркин Борис Сергеевич

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ
И ПРИБЫЛЕЙ ДЛЯ ОТЛИВОК

Учебное пособие

Редактор Е. А. Ушакова
Компьютерная верстка А. В. Кебель

Печатается по постановлению
редакционно-издательского совета университета

Подписано в печать 11.12.12. Формат 60×84/16. Бумага для множ. аппаратов.
Печать плоская. Усл. печ. л. 7,1. Уч.-изд. л. 7,4. Тираж 250 экз. Заказ № _____.
Издательство Российского государственного профессионально-педагогического университета. Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11.
